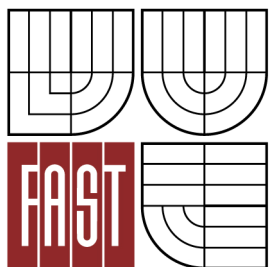




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

URČENÍ POHYBU SKALNÍCH BLOKŮ

DETERMINATION OF ROCK BLOCKS MOVEMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MONIKA PONČÍKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. VLASTIMIL HANZL, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646T003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. Monika Pončíková

Název Určení pohybu skalních bloků

Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

**Datum zadání
diplomové práce** 30. 11. 2013

**Datum odevzdání
diplomové práce** 30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Moštěk, V.:Monitoring pohybu skalních bloků v propadání Bílé vody, diplomová práce, VUT v Brně, 2011

Nezvalová, K.:Monitoring pohybů skalních bloků v propadání Bílé vody, diplomová práce, VUT v Brně, 2012

Zásady pro vypracování

Prostudujte diplomové práce (Nezvalová 2012, Moštěk 2011) týkající se zadané problematiky. Zaměřte body na skalních blocích v propadání Bílé vody u Holštejna ve dvou obdobích roku 2013 (18. a 19. etapa měření). Analyzujte vámi dosažené výsledky. Prostorové změny v poloze bodů a bloků dokumentujte vhodným způsobem. Porovnejte výsledky s předchozími etapami a pokuste se definovat trend pohybu bloků.

Předepsané přílohy

.....
doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá sledováním posunů skalních bloků a balvanů v propadání Nová Rasovna. Cílem práce je zaměření etapy č. 18 a etapy č. 19 v roce 2013. Práce navazuje na výsledky získané v letech 2004-2012. Dosažené výsledky jsou vzájemně porovnány a analyzovány vůči výsledkům získaných z dřívějších etap. Výsledky jsou vyjádřeny číselně i graficky.

Klíčová slova

posun, skalní blok, Propadání Nová Rasovna, etapové měření, pozorovaný bod, vyrovnání, analýza

Abstract

The diploma thesis deals with monitoring of movements of rock blocks and boulders near of the Bíla voda stream sink Nová Rasovna. The aim of thesis is to measure of the 18th stage and 19th stage in year 2013. The thesis follows on the results obtained in years 2004-2012. Achieved results are mutually compared and analysed towards the results of previous periods. The final results are shown numerically and graphically.

Keywords

movement, rock block, Stream sink Nová Rasovna, stage measurement, observed point, adjustment, analysis

Bibliografická citace VŠKP

PONČÍKOVÁ, Monika. *Určení pohybu skalních bloků*. Brno, 2014. 60 s., 23 s. příl.

Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27.5.2014

.....
podpis autora
Bc. Monika Pončíková

Poděkování:

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Vlastimilu Hanzlovi, Csc. za cenné připomínky a odborné rady při realizaci a zpracování této diplomové práce.

V Brně dne 27. května 2014

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. ZÁJMOVÁ LOKALITA.....	10
2.1 Chráněná krajinná oblast Moravský kras	10
2.2 Přírodní rezervace Bílá voda	12
2.2.1 Holštejnské údolí	12
2.2.2 Potok Bílá voda	13
2.3 Nová a stará Rasovna	13
2.4 Skalní bloky.....	14
2.4.1 Svahové pohyby	16
2.4.2 Stav vody v dané lokalitě	18
3. MĚŘENÍ POSUNŮ A PŘETVOŘENÍ.....	21
3.1 Základní pojmy.....	21
3.2 Metody měření posunů	22
3.2.1 Měření vertikálních posunů	22
3.2.2 Měření horizontálních posunů	24
3.2.3 Prostorové určení posunů	25
3.3 Vyhodnocení posunů	27
3.3.1 Interval spolehlivosti	27
4. MĚŘICKÉ PRÁCE	29
4.1 Volba metody	30
4.2 Použité přístroje a pomůcky	30
4.2.1 Určení součtové konstanty hranolu	31
4.3 Etapa č.18	32
4.4 Etapa č.19	33
5. ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT	35
5.1. Výpočetní software ORPHEUS	35
5.2 Matematický model	36
5.3 Střední chyby souřadnic	37
5.4 Střední elipsy chyb	38
6. POSOUZENÍ POSUNŮ	40
6.1 Posouzení posunů	40

6.2 Porovnání etap č. 17 a č. 18.....	41
6.3 Porovnání etap č. 18 a č. 19.....	42
6.4 Porovnání dvojice etap z roku 2013 s nultou etapou.....	45
6.5 Porovnání všech etap s nultou etapou	48
6.6 Prostorové vyjádření posunů	53
7. ZÁVĚR.....	54
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	55
SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	57
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	59
SEZNAM PŘÍLOH	60

1. ÚVOD

Zájmová lokalita diplomové práce se rozkládá v Chráněném krajinném území, které je dlouhodobě postižené sesuvy a řícením. V roce 1965 došlo ke zřícení skalní stěny nad ponorem potoka Bílá voda. Během měření vykonaných studenty a pracovníky ústavu geodézie v letech 2002 a 2004 v okolí propadání Nová rasovna vyšlo najevo, že skalní bloky vykazují změnu polohy. Největší blok, na kterém je stabilizován bod 33, se pohybuje vůči bodu 39, který je umístěn nejdále od místa ponoru potoku Bílá voda. Toto zjištění dalo podnět k sledování skalních bloků a balvanů před propadáním potoka Bílé vody. V roce 2004 bylo vytvořeno husté rovnoměrné bodové pole, které bylo v roce 2009 doplněno pěti novými body. Změny polohy pozorovaných bodů jsou předmětem této práce.

Diplomová práce určuje souřadnice pozorovaných bodů v etapě č. 18 a č. 19. Navazuje na kontinuální měření zahájené v roce 2004 doc. Hanzlem, které je považováno za nultou etapu. Cílem práce je vyhodnocení a porovnání rozdílů souřadnic pozorovaných bodů zaměřené v roce 2013 s předešlou etapou a nultou etapou.

Výpočet byl proveden v programu ORPHEUS. Analýza porovnání rozdílů souřadnic na pozorovaných bodech byla provedena v softwaru Microsoft Excel, kde byly také vygenerovány grafy (posuny v závislosti na časové linii). Grafické znázornění příloh je dále provedeno v softwaru Microstation a AutoCad.

K vypracování této diplomové práce byly prostudovány předchozí diplomové práce již od bývalých studentů Chodurová, Konečná, Adamíra, Moštek a Nezvalová.

2. ZÁJMOVÁ LOKALITA

Zájmové lokalita se rozkládá přibližně 30 km severovýchodně od města Brna v chráněné krajinné oblasti Moravský kras a přibližně 1 km jižně od obce Holštejn. Předmětem této diplomové práce jsou balvany a skalní bloky před propadáním Bílého Potoka, někdy označováno jako Nová Rasovna podle jeskyně, do které se potok propadá. Lokalita náleží katastrálnímu území obce Holštejn s kódem 641367. Souřadnice v systému WGS-84 jsou $49^{\circ}24'00''\text{N}$, $16^{\circ}46'00''\text{E}$ a přibližná výška propadání potoku je 470 m.n.m v systému Bpv.



Obr. 2.1 Ortofotosnímek zájmové lokality [zdroj podkladu: Google Earth]

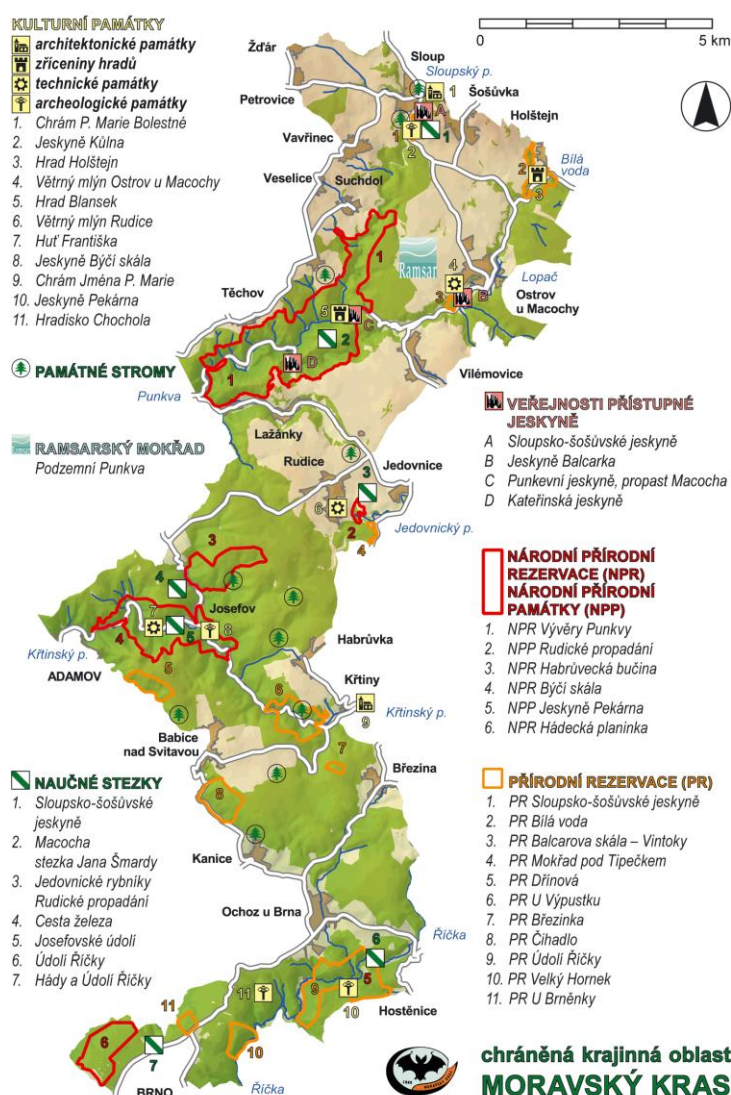
2.1 *Chráněná krajinná oblast Moravský kras*

Zájmová lokalita je situována v severní části chráněné krajinné oblasti Moravský kras. Moravský kras, tak jak jej známe dnes, představuje výsledek geologického vývoje, který trval mnoho set miliónů let. Najdeme v něm pozůstatky po starém kontinentu s vyvěřelými a přeměněnými horninami, svědectví po několika mořských záplavách a v neposlední řadě povrchové a podzemní krasové jevy.

Pocházejí odtud i světoznámé nálezy dokládající vývoj našich předků v pravěku a má nevyčísitelnou přírodní hodnotu v dnešní, člověkem tolik přetvořené kulturně průmyslové krajině. [1]

Moravský kras o rozloze 92 km² se rozkládá na devonských vápencích a byl v roce 1956 označen za chráněnou krajinnou oblast. Důvodem byla ochrana nejvýznamnější krasové oblasti s bohatstvím povrchových i podzemních krasových jevů s typickými rostlinami a živočichy. Z hlediska hydrologického i

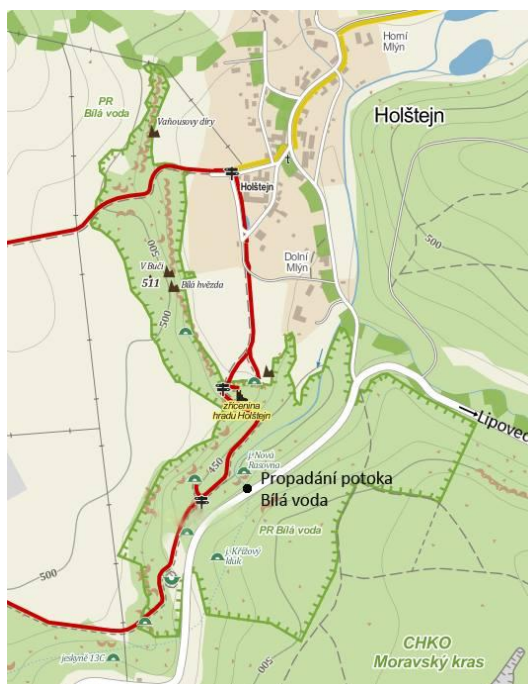
speleologického je možno oblast rozčlenit do 3 částí: severní část – zahrnuje jeskynní systémy vázané na podzemní říčku Punkvu a její zdrojnice (je to nejdelší systém amatérské jeskyně v ČR o délce cca 17 km), střední část – zahrnuje jeskynní systémy vázané na podzemní Jedovnický a Křtinský potok (nejdelší jeskynní systém tvoří Rudické propadání s Býčí skálou cca 6 km), jižní část – zahrnuje jeskynní systémy v povodí Řičky (nejdelší Ochozská jeskyně cca 2 km). [2] [3]



Obr. 2.2 CHKO Moravský kras [17]

2.2 Přírodní rezervace Bílá voda

Přírodní rezervace Bílá voda se nachází v ponorné oblasti potoka Bílá voda u silnice III/3783 v závěru Holštejnského údolí. Jedná se o území, které je dlouhodobě postižené sesuvy a řícením s rozlohou 34,37 ha. V roce 1990 bylo území prohlášeno za přírodní památku. Důvodem ochrany jsou přirozené lesní porosty, výskyt chráněných a ohrožených druhů rostlin a území, které tvoří krasové údolí potoka ležícího na geologické hranici devonských vápenců s četnými povrchovými i podzemními krasovými jevy - hřebenáče, škrapová pole, závrtky, ponory, jeskyně Hoštejnská a jeskyně Hladomorna, která byla v minulosti využívána jako vězení. Součástí přírodní rezervace je především poloslepé Holštejnské údolí spolu s aktivním ponorem potoka Bílá voda označováno jako „Rasovna“, které je zájmovou lokalitou této práce.



Obr. 2.3 Přírodní rezervace bílá voda – turistická mapa [zdroj podkladu: www.google.maps.com]

2.2.1 Holštejnské údolí

Holštejnské údolí je severní částí Suchého žlebu a spolu s Hradským a Ostrovským žlebem tvoří toto asi 8 km dlouhé krasové údolí. Údolí vzniklo erozí potoka Bílá voda, který si postupně vyhloubil cestu do podzemí, a proto ho můžeme označit za poloslepé údolí. Pro tento typ údolí je typické, že se vyskytuje v místech

ponorů a je uzavřeno stěnou, u níž se vodní tok propadá do podzemí. Za uzávěrovou stěnou dále pokračuje původní údolí ve vyšší úrovni. [4]

2.2.2 Potok Bílá voda

Potok Bílá voda pramení jižně od obce Protivanov v blízkosti vrcholu Brd ležícího 671 m.n.m. K propadání Rasovna přitéká potok ze severovýchodu obce Holštejn a protéká obcemi Niva, Rozstání a Baldovec. Potok Bílá voda má 12 přítoků, jedním z nich je pravostranný přítok Lipoveckého potoka, který přitéká do potoka v podzemních prostorech jeskyně Rasovny. Za zmínku stojí levostranný přítok potoku Bělčicka, který je jedním z nejdelších přítoků potoka. Z kraje Holštejnského údolí se potok větví na 2 ramena - severní a jižní. Jižní rameno vtéká do údolí při nadmořské výšce 463 m a tvoří široké řečiště dosahující v některých místech šířky přes 100 m. Dále tok ústí k propadání Nová Rasovna a ztrácí se do podzemí ve výšce 442 m. Vzdálenost mezi počátkem Holštejnského údolí a propadáním Novou Rasovnou je přibližně 1 km. Převýšení mezi těmito body je poměrně velké na tak krátkou vzdálenost a můžeme usuzovat, že dříve zde tekla mohutná řeka. Tok potoku Bílá voda při překonání propadání Nová Rasovna dále protéká skrz jeskyně Piková dáma, Spirálka a jeskyně C13 až do systému Amatérské jeskyně, kde tvoří začátek jedné ze dvou hlavních větví chodeb tohoto systému. Spolu se Sloupským potokem vytváří říčku Punkvu. Vlastní délka toku Bílé vody činí 20,9 km. Celá říční síť měří asi 46 km a odvodňuje plochu 60 km².

2.3 Nová a stará Rasovna

Tok Bílého potoka se propadá do jeskyně, která je označována jako „Rasovna“. V minulosti byla „Rasovna“ využívána místními obyvateli k likvidaci nemocných nebo uhynulých zvířat, proto si propadání získalo tento specifický název.

Ponorná jeskyně Nová Rasovna má tři vchody. První je vlastní propastovitý ponor, který je od roku 1959 neprůchodný. Střední vchod je od roku 1965 zatarasen zřícením skalní stěny do pukliny vedoucí do středních pater. Třetí – horní vchod, je tvořen 50 m hlubokou propastí opatřenou ocelovými žebří a nachází se kolmo nad propadáním u silnice za konstrukcí provizorního dřevěného mostu. Tento vchod spojuje horní patra s krápníkovou výzdobou se středním patrem a dlouhými

chodbami spodní úrovně, ze kterých vede odbočka do Macošské chodby, která končí hlubokým sifonem.

Původní propadání, zvané Stará Rasovna (Zbořisko), leží několik desítek metrů jižně od současného ponoru Nová Rasovna. Jeho stěny tvoří částečnou závěru poloslepého Holštejnského údolí, které se v místech ponoru zvedá a přechází do Hrádského žlebu. Jeskyně Stará Rasovna je označovaná také jako ledová a jedná se o jedinou ledovou jeskyni v Moravském krasu. Teplota při vstupu do jeskyně se pohybuje okolo bodu mrazu.

Tok Bílého potoka protéká vyšší úrovní (Stará Rasovna) pouze v období jarních tání nebo povodní. Ponor Nová Rasovna nestačí pobrat všechnu vodu a hladina toku se zvedne asi o 6 m oproti obvyklému stavu. Tento stav velmi ovlivňuje území u propadání a tím i skalní bloky a balvany, jejichž sledování je předmětem této práce.

V letních měsících tok vysychá, protože voda stačí proniknout do hlubin ještě dřív, než doteče ke skalní stěně.

2.4 Skalní bloky

Silnice III/3783 vedoucí z Ostraha do Holštejna a Lipovce byla v předchozích letech zatížena dopravou nadprůměrných nákladů z přilehlého lomu. Těleso vozovky nad propadáním potoka je od té doby neustále poškozováno sedáním a odlamováním části konstrukce vozovky do propadání. V roce 1965 došlo k náhlému zřícení části stěny nad ponorem vodního toku Bílá voda. Posuny zřícených skalních bloků a balvanů jsou předmětem této práce. [7]

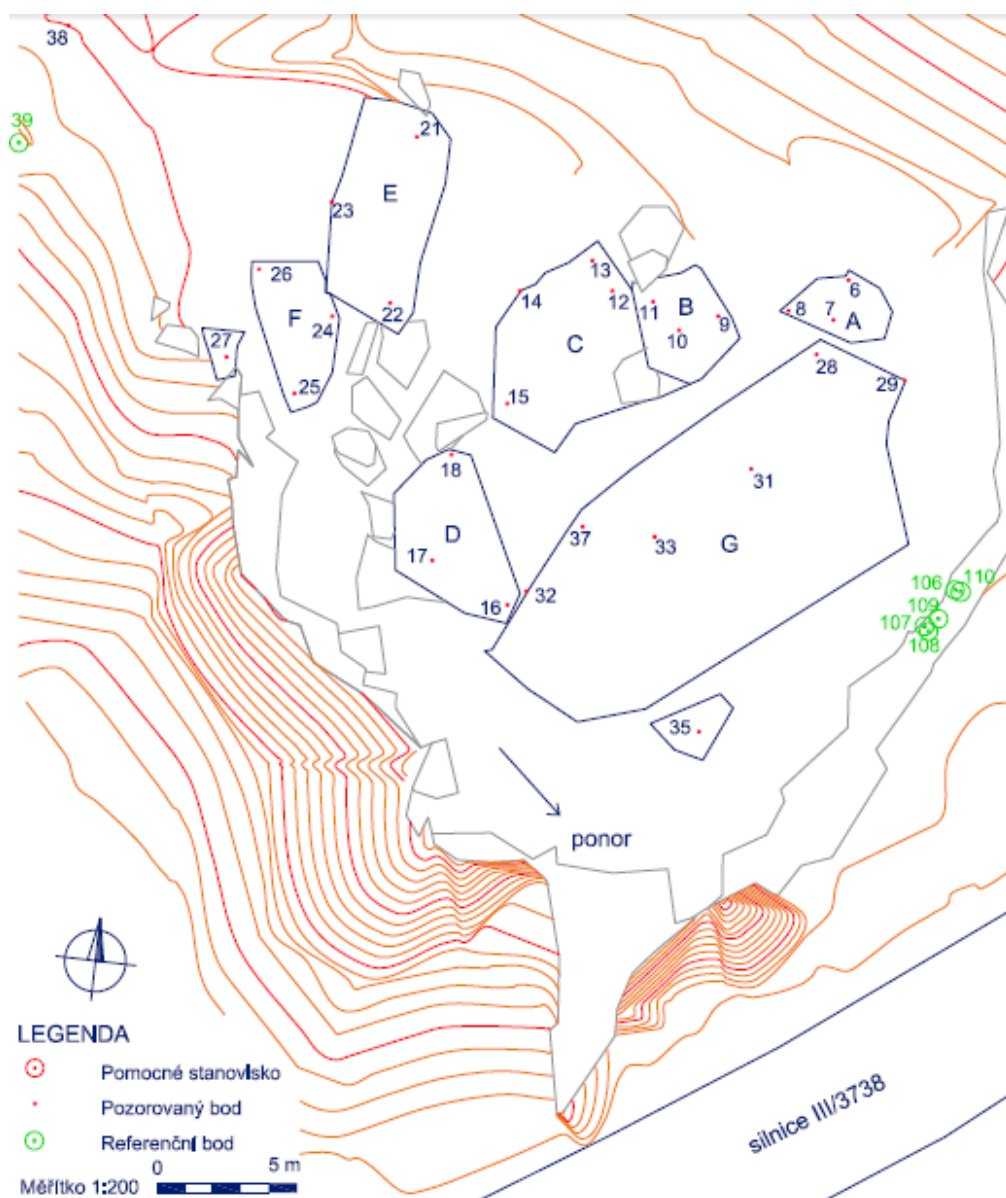
Dle předchozí dokumentace mají skalní bloky a balvany specifické označení. Pro orientaci jsou označeny velkými písmeny (A, B, C, D, E, F). Na těchto blocích a



balvanech jsou v terénu osazeny kovové hřeby, mosazné čepy nebo nýty s vývrtem a body jsou očíslovány. Na obrázku je ukázka stabilizace většiny pozorovaných bodů. Výjimku tvoří pozorovaný bod č. 33, který je stabilizován železným nýtem.

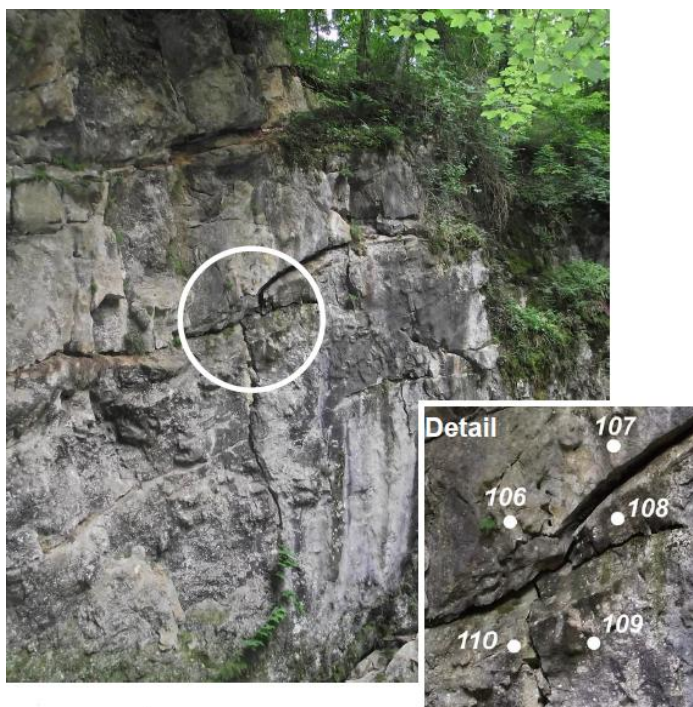
Obr. 2.4 Způsob stabilizace pozorovaného bodu [autor]

Každý rok, vždy ve dvou etapách (na přelomu jaro-léto a léto-podzim) jsou pozorované body zaměřovány geodetickými metodami a tím se sleduje posun skalních bloků a balvanů. Systematické sledování bylo zahájeno v létě roku 2004 doc. Hanzlem. Vlivem prokazatelného posunu a neustálého pracování terénu i skalních bloků, došlo v minulosti k zamezení přístupu některých pozorovaných bodů a tím bylo jejich sledování ukončeno (body č.: 19, 20, 30, 34, 36). V etapě č. 17, na kterou jsem navazovala, byly zaměřeny pozorované body č. 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 35, 37, 38. Všechny pozorované body byly nalezeny a zaměřeny v etapě č. 18 i etapě č. 19. Rozmístění skalních bloků a balvanů před propadání potoka Bílá voda je patrné z obrázku níže.



Obr. 2.5 Rozmístění skalních bloků a balvanů s označenými pozorovanými body

Měření je navázáno na referenční body 101, 102, 103, 104, 105 a 106, které jsou stabilizovány mimo sledované skalní bloky a balvany. Uvedené body jsou umístěny na skalní stěně nad propadáním. Rozmístění těchto bodů je patrné z fotografie uvedené na obrázku níže. Dále je využíván jako referenční bod č. 39. Je umístěn na pravém břehu potoka na stabilní skále a byl zde stabilizován pro speleologická měření.



Obr. 2.6 Referenční body na skalní stěně nad propadáním potoka Bílá voda [18]

2.4.1 Svahové pohyby

Svahové pohyby mohou vznikat jako čistě přírodní procesy nebo mohou být generovány lidskou činností, především necitlivými úpravami terénu. Vznikají také v důsledku účinků gravitace, která působí na svahový materiál. Tento materiál můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin, a to skalní podloží a zvětralinový plášť (*regolit*). Skalní podloží představuje podložní horninu, která může být sice narušená přítomností různých trhlin a puklin, ale jinak se chová jako kompaktní masa, jejíž pevnost není ovlivněna např. obsahem vody. *Regolit* je vrstvou všech zvětralin, které spočívají na horninovém podkladu, zahrnuje tedy půdu a ostatní materiál v různém stádiu zvětrávání. Oproti skalnímu podloží chybí u regolitu kompaktnost. Zvětralininy mohou být rovněž velice oslabeny při saturaci vodou. Většina svahů se skládá z obou typů materiálu a právě jejich poměr pak určuje důležité charakteristiky svahových procesů. [6]

Z hlediska rychlosti procesů rozdělujeme svahové pohyby na pomalé, středně rychlé a rychlé[5]. Mezi nejtypičtější svahové pohyby můžeme zařadit [7]:

- *Ploužení* je pomalý dlouhodobý a zpravidla nezrychlující se pohyb horninových hmot, kterým začíná každý svahový pohyb. Pomalé pohyby jsou zcela přirozeným přírodním úkazem a můžeme je počítat v desítkách cm za rok. [6]
- *Sesouvání* je relativně rychlý krátkodobý klouzavý pohyb horninových hmot po svahu podél jedné nebo více průběžných smykových ploch (rovinná nebo rotační), jehož výslednou formou je sesuv.
- *Stékání* je katastroficky rychlý krátkodobý pohyb horninových hmot ve viskózním stavu, jehož výslednou formou je proud.
- *Řícení* je pohyb horninových hmot na strmých svazích, který je krátkodobý a probíhá na mrazových a strukturních svazích. Úlomky rozvolněných hornin ztrácejí kontakt s podložím, vlivem gravitace se náhle přemísťují a při úpatí vytvářejí haldy.

V roce 1994 byl proveden prvotní inženýrsko-geologický průzkum a geotechnické zhodnocení v okolí silnice III/3783 nad propadáním Nová Rasovna pracovníky ÚG VUT v Brně. Průzkum měl za úkol zhodnotit území z hlediska stability. Bylo zjištěno, že stabilita [7]:

- svahů nad i pod silnicí je trvale snižována dešťovou a potoční erozí.
- skalních stěn pod propadáním je snižována mrazovým zvětráváním a odpadáváním bloků, které vede k náhlým katastrofálním řícím stěn.
- území nad i pod silnicí je ohrožována krasovými jevy a to ponorným tokem a jeho účinky.

Z naměřených dat jednotlivých etap byl dále vyznačen větší pokles bodů v místě silnice nad propadáním Nová Rasovna. Proto v tomto místě byl z bezpečnostních důvodů smontován provizorní železniční most, který je položen na stávající komunikaci.



Obr. 2.7 Mostní konstrukce nad propadáním [autor]

Mostní konstrukce už značně přesluhuje a dle Správy a údržby silnic mělo užívání provizorního mostu vypršet již v roce 2010. Nad krasovým ponorem potoka Bílá voda jsou velmi složité geologické poměry a realizace stavby bude obtížná. Z tohoto důvodu se dlouho vybírá projekt, který by vyhovoval jak tvarově, tak způsobem ukotvení [10]. V září 2012 byla opět vyhlášena veřejná zakázka, jejímž předmětem bylo odstranění provizorního mostu. Novostavba ocelového mostu a rekonstrukce přibližně 1 km části silnice III/3783. Předpokládaný termín realizace stavebních prací byl od března do listopadu roku 2013, jak ve své práci uvedla již bývalá studentka Krystína Nezvalová. Avšak stavební práce v době měření etapy č. 18 (červenec) ani etapy č. 19 (říjen) nebyly zahájeny. Při rekognoskaci na jaře roku 2014 bylo zjištěno, že rekonstrukce silnice od křižovatky zvané U kaštanu kolem Holštejna přes Lipovec až ke křižovatce pod Kojál byla zahájena.

Na fotografiích pořízené na jaře roku 2014 níže vlevo můžete vidět, že provizorní mostní konstrukce nad propadáním byla odstraněna. Na fotografii vpravo je vidět, že v místě nad propadáním došlo ke značnému sesuvu zeminy.



Obr. 2.8 Rekognoskace jaro 2014 [autor]

2.4.2 Stav vody v dané lokalitě

Z předchozí kapitoly vyplývá, že největší vliv na snižování stability dané lokality a tím i na posuny skalních bloků a balvanů má voda (tzn.: dešťová a potoční eroze, mrazové zvětrávání, ponorný tok a jeho účinky).

Oblast Moravského krasu je charakteristická členitým reliéfem – hlubokými údolními, strmými svahy a především velkým množstvím potoků. Živný vápencový poklad a stín krasových žlebů způsobuje vlhko, stálý chlad a naopak teplo a světlo

jejich skalní ostrohy. Zdejší charakter tedy velmi ovlivňuje klima a vytváří do jisté míry své mikroklima. Značné rozdíly jsou patrné v částech CHKO Moravský kras. V jednotlivých částech je různá průměrná roční teplota (jižní část - 8,4°C, severní část - 6,5°C), množství srážek, délka sněhové pokrývky i období s nejdelším trváním slunečního svitu.

Moravský kras se 700 mm srážek ročně patří mezi relativně vlhčí oblasti ČR. Vodní stav potoka Bílá voda je silně závislý na množství dešťových srážek i na ročním období. Nejvíce dešťových srážek je dlouhodobě v teplejší části roku v měsíci červenci.

Zvýšené vodní stavy v Moravském krasu nejsou výjimkou a bývají v různé míře každý rok. Často tedy v dané lokalitě dochází k zatopení. Za zmínku stojí povodeň z roku 1900, která nastala náhlou oblevou a táním sněhové masy po celé délce vodního toku Bílá voda. Zatopena byla oblast okraje Staré Rasovny až po okraj Holštejna. Bylo rozpoznáno, že odvodňovací kapacita úzkého otvoru u sifonu Nové rasovny je příliš malá. [8]

V roce 1970 zasáhly severní část Moravského krasu (povodí potoka Bílá voda i Sloupského potoka) mimořádně vysoké a náhlé bouřkové srážky, které se projevíly nejen na povrchu, ale také v podzemí. V Pustém žlebu došlo k vytvoření prudkých svahových toků a ke svahovým splachům následující silnou erozí. Na více místech došlo k poškození silničního tělesa. Mohutné vodní přívaly zasáhly i Holštejnsko. Voda před propadáním Nová Rasovna stoupala o více než 10 m a tím se zvýšilo průtokní množství vody do podzemí. Došlo k zatopení Amatérské jeskyně, kde právě probíhalo speleogické šetření Milanem Šlechtou a Markem Zahradníčkem. Oba zde tragicky zahynuli. [9] Ze současnosti lze zmínit povodeň z roku 2005 vzniklou následkem masivního tání sněhu. Potok Bílá voda začal přetékat i do Staré Rasovny a před Novou Rasovnou se vytvořilo jezero plné odpadu a ledových ker, které se táhlo až k vesnici Holštejnu. Potok Bílá voda se zvedl na nejvyšší dokumentovanou hladinu. O rok později v březnu 2006 se situace opakovala a opět došlo k masivnímu tání sněhu, ke kterému přispěla silná bouře[12].

Na fotografiích níže můžete vidět povodeň z roku 2006 [11], dále pak stav vodního toku při měření etapy č. 18 a stav vodního toku při rekognoskaci na jaře 2014. Z poslední fotografie je také patrné, že dochází k sesuvu zeminy do propadání.



Obr. 2.9 Stav vodního toku Bílá voda [11], [autor]

3. MĚŘENÍ POSUNŮ A PŘETVOŘENÍ

Stavební i přírodní objekty mohou v důsledku působení vnějších i vnitřních vlivů vykazovat nestabilitu prostorové polohy. Mezi vnější vlivy můžeme zařadit změnu zatížení základové půdy, dynamické provozní účinky, kolísání hladiny spodní vody, seismickou činnost, poddolování a jiné. Objekt také může vykazovat nestabilitu vlivem změny vnitřního napětí způsobené dotvarováním materiálů. Jsou-li pak stavební či přírodní objekty nestabilní, dochází k přemísťování objektu jako celku (posun), mění se jeho tvar (přetvoření), případně může sledovaný objekt vykazovat kombinaci obou jevů [13].

Posuny a přetvoření především stavebních objektů jsou velmi nežádoucí, protože mohou narušit stav, funkci a bezpečnost objektu. Proto je nutné sledovat tyto změny a určovat jejich velikost, abychom včas odhalili případné nebezpečí.

3.1 Základní pojmy

V předchozí kapitole jsem zmínila, že dochází k *posunu* objektu. Ten představuje prostorovou změnu polohy objektu vzhledem k původní poloze. Posun se tedy určuje k tzv. nulové poloze (poloha objektu v době prvního měření) nebo poloze získané z předešlého měření.

Velikost a směr posunů jednotlivých částí objektu se určuje pomocí měření vhodně osazených značek tzv. *pozorovaných bodů* připojených na *vztažné body*. *Vztažný bod* je bod, který je součástí vztažné soustavy a je umístěn mimo sledovaný objekt.

Posuny se měří ve směru *vertikálním* nebo ve směru *horizontálním*. Pokud jsou měřeny posuny jak ve vertikálním tak i v horizontálním směru, pak určujeme posuny *prostorové*. Určování prostorových posunů je předmětem této diplomové práce.

Dále dle směru definujeme tyto posuny:

- sedání – svislý posun směrem dolů
- zdvih – svislý posun směrem nahoru
- průhyb – odchýlení od svislice
- pootočení – otočení kolem osy v obecné poloze

Měření posunů může být relativní nebo absolutní. *Relativní posuny* jsou posuny, které jsou detekované v soustavě pozorovaných bodů, tedy posuny jednotlivých částí objektu navzájem nebo k nejbližšímu okolí. *Posuny absolutní* jsou posuny objektu vzhledem k bodům vztažné soustavy.

Pro určování posunů se využívá *etapového měření*, tedy opakovaného měření. Časový interval se volí tak, aby byl zachycen plynulý průběh posunů. U staveb je obvykle měřeno alespoň při nulovém, čtvrtinovém, polovičním, tříčtvrtinovém a plném zatížení základové spáry. V mém případě je měření prováděno každý rok, vždy ve dvou etapách (na přelomu jaro-léto a léto-podzim).

Z vyhodnocení měřených posunů získáme i míru *přetvoření*, kterou nejsme schopni určit přímým měřením. [13]

3.2 Metody měření posunů

Posuny a přetvoření staveb je možné měřit fyzikálními metodami, mezi které patří i metody geodetické, které se Vám budu snažit přiblížit v této kapitole. Metody dělíme dle toho, jakou složku posunu měříme – měření vertikálních posunů, měření horizontálních posunů či kombinace obou metod tzv. prostorové určení posunů.

3.2.1 Měření vertikálních posunů

Měřením vertikálního posunu zjišťujeme svislou složku posunu a je možné ji měřit těmito metodami: *geometrickou nivelací*, *hydrostatickou nivelací*, *trigonometrickým měřením výšek* anebo *blízkou fotogrammetrií*.

➤ Geometrická nivelace

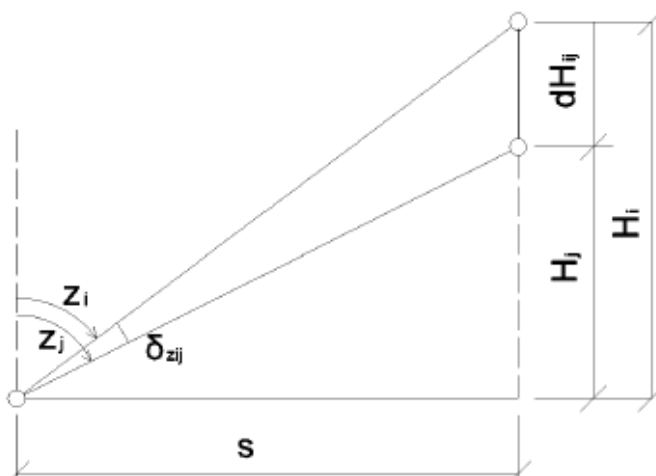
Je nejčastěji využívaná metoda na měření svislých posunů. Dle toho s jakou přesností chceme získat výsledný posun, využijeme buď metodu velmi přesné nivelace (VPN) anebo přesné nivelace (PN). U obou z metod je nutné dodržovat technologický postup. Přístroj se snažíme vždy umístit doprostřed sestavy, pokud nelze, je nutné zavádět korekce z nestejně délky záměr tzv. opravu ze sklonu horizontu přístroje. Pro zajištění vyšší spolehlivosti výsledků je snahou vždy měřit nadbytečná převýšení, aby mohlo být provedeno vyrovnání. [13]

➤ *Hydrostatická nivelace*

Princip určování převýšení hydrostatickou nivelací vychází z využití fyzikálních vlastností kapaliny umístěné ve dvou spojených nádobách tvořících hydrostatickou soupravu. Nádoby spojené hadicí se umísťují na body, jejichž převýšení chceme určit. Při této metodě je možné určovat jen malý výškový rozsah, avšak za jednu z výhod považujeme využití této metody jen v těžko dostupném terénu nebo v místech kde je ohroženo lidské zdraví (reaktorové sály jaderných elektráren apod.). Další výhodou je dosahovaná přesnost srovnatelná s velmi přesnou nivelací. V geodetické praxi se s touto metodou příliš nesetkáme. [13]

➤ *Trigonometrická nivelace*

Není-li možné použít jednu z uvedených metod geometrické nivelace, použije se metoda trigonometrické nivelace, která však nedosahuje takové přesnosti. Metoda je založena na opakovaném měření vodorovných vzdáleností a svislých úhlů z pevných stanovišek (stabilizovány na pilíři, tzv. nucená centrace) na pozorovaný bod. Při vyhodnocení se předpokládá, že se nezměnila vzdálenost ani převýšení stanoviška a pozorovaného bodu mezi oběma etapami. Tento stav platí pouze tehdy, nejsou-li záměry příliš strmé. Je tedy nutné zavádět příslušné korekce. Výsledný posun se vyhodnocuje na základě rozdílu mezi zenitovými úhly. [13]



Obr. 3.1 Trigonometrické měření posunů [autor]

➤ *Blízká fotogrammetrická metoda*

Výhodou fotogrammetrie je značná efektivnost a univerzálnost ve vazbě k rozsahu poskytování informací. Má schopnost zachytit stav měřených objektů v jediném časovém okamžiku, avšak zpracování probíhá v kanceláři na speciálním

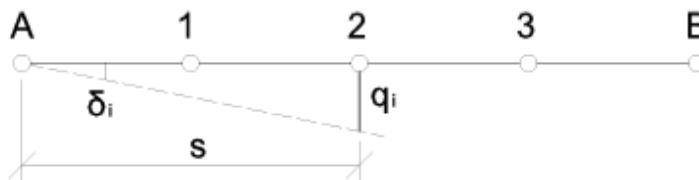
vyhodnocovacím zařízením, z toho vyplývá, že nemáme výsledky ihned v terénu. Další nevýhodou je nižší dosahovaná přesnost, ta klesá se vzdáleností objektu od stanoviště fotografování. [13]

3.2.2 Měření horizontálních posunů

Horizontální posuny nejsou oproti vertikálním posunům tak výrazné. Jsou často způsobeny: změnou hladiny spodní vody, tlakem vyvolaným sousedními objekty, porušením stability podložních vrstev, tlakem vodních mas, působením větru apod. Posuny odhalíme těmito metodami: *metodou záměrné přímky*, *polygonovou metodou*, *přesnou trigonometrickou metodou* nebo využitím moderních *GNSS metod*. [13]

➤ Metoda záměrné přímky

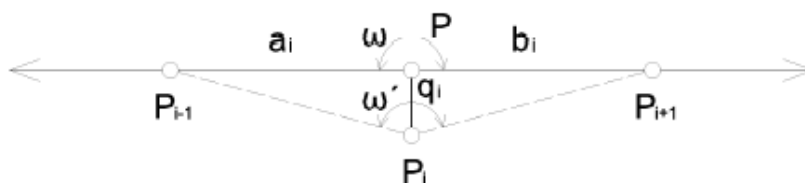
Je jednoduchou a poměrně přesnou metodou měření horizontálních posunů. Určíme pouze jednu složku horizontálního posunu a to ve směru kolmém k záměrné přímce. Získáme ji přímým nebo nepřímým (přepočtení měřeného úhlu a délky) měřením odchylek pozorovaných bodů vůči dané přímce, která je stabilizovaná mimo daný objekt. Posun je dán rozdílem příčných odchylek mezi etapami měření. [13]



Obr. 3.2 Metoda záměrné přímky [autor]

➤ Metoda polygonová

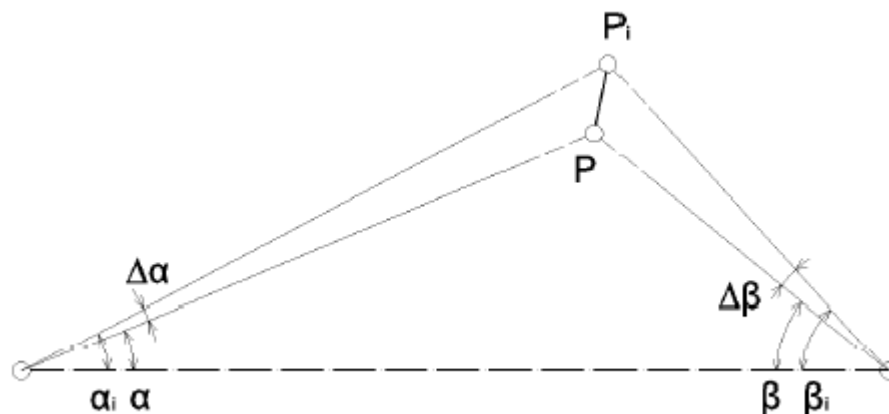
Princip spočívá v přesném měření úhlů a délek ve vhodně umístěném polygonovém pořadu na měřeném objektu. Metoda polygonová stejně jako metoda záměrné přímky určuje pouze jednu složku posunu a to ve směru kolmém na daný obousměrně připojený polygonový pořad. Pořad volíme co nejvíce přímý a rovnostranný. Za předpokladu neměnicích se délek stran pořadu mezi etapami se posuny odvozují ze změn hodnot vrcholových úhlů. [13]



Obr. 3.3 Metoda polygonová [autor]

➤ Metoda trigonometrická

Trigonometrická metoda je založena na protínání ze směrů, které jsou orientovány vzhledem k místní účelové geodetické síti. Tato metoda poskytuje obě složky horizontálního posunu. Posuny se určují jako rozdíly z vypočtených souřadnic mezi jednotlivými etapami, to je patrné z obrázku 3.4.



Obr. 3.4 Trigonometrická metoda měření posunů [autor]

➤ Metoda GNSS

V posledních letech pronikají metody globálních navigačních satelitních systémů (GNSS) i do oblasti měření posunů (byla to jedna z prvních inženýrských aplikací). Přesnost této metody je závislá na vzdálenosti referenční stanice a době observace. V současnosti je přesnost v určení horizontální polohy statickou metodou 1-3 mm, avšak pro vertikální určení posunů není tato metoda příliš vhodná. Výhodou metody je možnost instalovat dlouhodobě měřicí aparatury, které nepotřebují lidskou činnost.

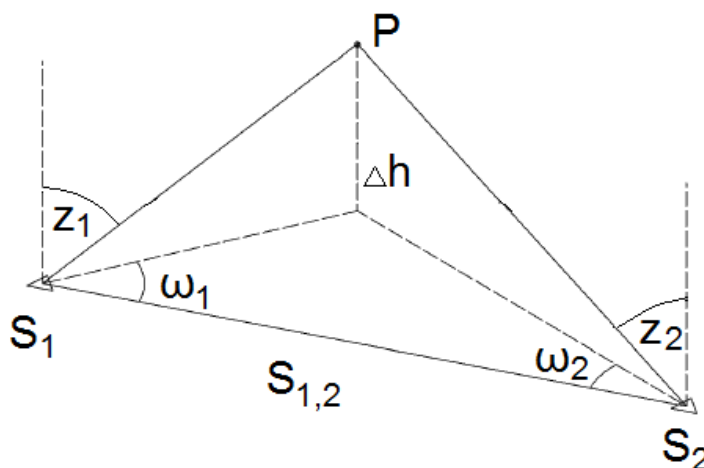
3.2.3 Prostorové určení posunů

U některých objektů je třeba stanovit prostorové složky posunu. Stávající měřické metody je vhodné kombinovat a často doplňovat o nové postupy v souvislosti s rozvojem poznatků, měřicí techniky a automatizovaných vyhodnocovacích postupů. Je také možné využít kombinace již zmíněných metod, nebo použít jinou metodu, která by nám současně určila jak horizontální, tak vertikální složku posunu. Posuny se stanoví z rozdílu původní (základní/nulté) a následující etapy měření[20].

➤ *Trigonometrickou metodu* je možné doplnit o měření zenitových úhlů pro získání vertikální složky posunu. Při měření i při zpracování se jedná o náročný postup, ale umožňuje určit s vysokou přesností absolutní hodnoty posunů pozorovaných bodů v obecném směru. Využívá se především tam, kde je třeba zvýšené bezpečnosti provozu u zvláště významných staveb (např. údolní přehrad).

➤ *Prostorová polární metoda* – základem je měření na jednom stanovišti, kde se měří vodorovné úhly, zenitové úhly a šikmé délky. Z měřených hodnot se pomocí rajónu vypočtou horizontální souřadnice x, y a vertikální souřadnice z se dopočítají trigonometricky.

➤ *Metoda protínání vpřed z úhlů* – metodu je možné doplnit o o měření zenitových úhlů a tím budeme schopni stanovit i vertikální složku posunu. Metoda tedy poskytne získat absolutní hodnoty posunů pozorovaných bodů s vysokou přesností a to řádově v desetinách milimetrů.



Obr. 3.5 Prostorové protínání vpřed ze směrů [autor]

➤ *Laserové skenování* – v současnosti převažují digitální způsoby snímkování i vyhodnocení. Metoda je založena na prostorové polární metodě a na využití bezhranolového dálkoměru. Výsledkem skenování je tzv. mračno bodů v prostorovém souřadnicovém systému. Přesnot měření se pohybuje řádově v milimetrech v závislosti na povrchu skenovaného objektu a přesnosti skeneru.

➤ *Metoda GNSS* nám umožňuje také určit prostorovou polohu bodu, avšak pro určení vertikálních posunů není tato metoda příliš vhodná, jak již bylo zmíněno v kapitole 3.2.2.

3.3 Vyhodnocení posunů

Posun je výsledkem rozdílu dvou etap měření, avšak někdy je problematické rozhodnout, zda posun pozorovaného bodu nastal, nebo jsou-li zjištěné posuny pouze produktem měřických chyb. Proto se využívá statických testování pomocí *intervalů spolehlivosti* podle následujících vztahů:

$\Delta x < m_{\Delta x}$	není posun měřením prokázán
$m_{\Delta x} \leq \Delta x \leq \delta_{\Delta x}$	posun mohl nastat, ale nebyl jednoznačně prokázán
$\Delta x > \delta_{\Delta x}$	posun nastal se zvolenou pravděpodobností

Kde:

Δx je naměřený posun, tedy rozdíl souřadnic mezi jednotlivými etapami (i),
 $m_{\Delta x}$ je úplná střední chyba naměřeného posunu a její vztah vychází ze zákona

hromadění středních chyb: $m_{\Delta x} = \sqrt{m_{X(i)}^2 + m_{X(i-1)}^2}$

$\delta_{\Delta x}$ představuje mezní hodnotu odchylky, pokud je překročena mluvíme o posunu a je daná vztahem $\delta_{\Delta x} = t \cdot m_{\Delta x}$, kde t je součinitel konfidence a bude popsán v následující kapitole.

Výsledné zjištěné posuny se pak vhodně interpretují, v mém případě jsem zvolila pro interpretaci výsledků přehledné tabulky a grafy.

3.3.1 Interval spolehlivosti

Je okolí naměřené hodnoty (popřípadě okolí vypočtené hodnoty), které se zvolenou pravděpodobností (rizikem) obsahuje hodnotu dané veličiny, vyjadřuje se v násobcích *součinitele konfidence* a *základní střední chyby*.

➤ Součinitel konfidence je faktor, jímž se volí šířka konfidenčního intervalu vzhledem ke zvolenému riziku, označuje se t a obvykle se volí v rozmezích 2-3. Volba hodnoty součinitele konfidence silně závisí na požadované spolehlivosti měření[14] :

- $t = 2$... volíme u jednoduchých a snadno kontrolovatelných měření, kde lze snadno vyloučit systematické chyby. Riziko nesplnění je 5%.
- $t = 2,5$... volíme u složitějších měření, která se obtížně kontrolují a kde je obtížné vyloučit systematické chyby. Riziko nesplnění je 1%.

- $t = 3$... používá se zcela výjimečně u důležitých a ekonomicky náročnějších měření. Volíme při nepříznivých podmínkách pro měření, při obtížném vyloučení systematických chyb a při vysoké spolehlivosti měření. Riziko nesplnění je 0,2%.

➤ Základní střední chyba je dána předem volbou přístroje, volbou metody, okolnostmi měření a můžeme o ní říct, že je určena jako střední chyba z rozsáhlého souboru měření.

4. MĚŘICKÉ PRÁCE

Sledování skalních bloků a balvanů probíhá nepřetržitě již od roku 2004, kdy proběhla základní (nultá) etapa měření. Pro stanovení prostorových měření v nulté etapě bylo využito metody přesné nivelace a prostorového protínání, kdy byly měřeny horizontální úhly, zenitové úhly a šikmé délky. Měřické práce v etapě č. 18 proběhly s ohledem na předchozí vykonané měření etapy č. 17 v říjnu bývalou studentkou Nezvalovou. Bylo zaměřeno všech 27 pozorovaných bodů, které jsou stabilizovány měděnými nýty s vývrtem. Dále byly zaměřeny body 33 a 39, které slouží pro speleologická měření a jsou stabilizovány pomocí železných nýtů. Bod 39 je také využíván jako referenční bod a nachází se na pravém břehu potoka na stabilní skále. Měření je dále navázáno na referenční body 106, 107, 108, 109 a 110, které jsou stabilizovány na skalní stěně nad propadáním viz. *Obr. 2.5 Referenční body na skalní stěně nad propadáním potoka Bílá voda*. V níže uvedené tabulce je přehled dříve měřených etap.

Etapa	Datum	Zaměřil	Poznámka
0.	29.6.2004	doc. Hanzl, Suchá	přesná nivelace
	17.8.2004	doc. Hanzl, Suchá	
	11.9.2004	Chodurová, Konečná	DP Chodurová
1.	18.4.2005	Chodurová, Konečná	DP Chodurová
2.	8.8.2005, 11.8.2005	doc. Hanzl, Nogová	DP Nogová
3.	27.4.2006	Nogová	DP Nogová
4.	29.6.-1.7.2006	Kučerová, Tomečková	DP Kučerová, Dp Tomečková
5.	13.-15.10.2006	Kučerová, Tomečková	DP Kučerová, Dp Tomečková
6.	červen 2007	Tichá	DP Tichá
7.	říjen 2007	Tichá	DP Tichá
8.	15.5.2008	doc. Hanzl	
9.	21.11.2008	doc. Hanzl	
10.	3.-4.6.2009	Konečný, Hegyiová	
11.	4.-6.9.2009	Konečný, Hegyiová	BP Hegyiová
12.	9.6.2010	Adamíra	DP Adamíra
13.	6.10.2010	Adamíra	DP Adamíra
14.	15.11.2011	Moštek	DP Moštek
15.	28.9.2011	Moštek	DP Moštek
16.	23.6.2012	Nezvalová	DP Nezvalová
17.	13.10.2012	Nezvalová	DP Nezvalová

Tab. 4.1 Přehled etapových měření [18], [19]

4.1 Volba metody

Volba metody byla závislá na několika faktorech, mezi které můžeme zařadit rozlohu lokality, pohyb v terénu, bezpečné postavení přístroje (*nestabilní terén*) a viditelnost mezi stanovisky a pozorovanými body.

Území před ponorem potoka Bílá voda je poměrně malé cca 600 m². V dané lokalitě dochází pravidelně k zaplavení, skalní bloky a balvany jsou omílány vodou a jejich povrch je tak velmi kluzký i nejen díky relativní vlhkosti dané lokality. Bylo potřeba dbát zvýšené opatrnosti při pohybu po jejich povrchu. Pohyb v terénu byl také značně nepříjemnější při pohybu v prostoru mezi skalními bloky a balvany. Prostor je zaplněn naplaveninami (štěrk, bláto, úlomky dřevin apod.) a napadanými kmeny, které ležely i přes několik skalních bloků. Napadané kmeny spolu s balvany tvořily přirozenou překážku, která značně snižovala viditelnost mezi jednotlivými pomocnými měřickými stanovisky i pozorovanými body.

V prostoru před ponorem bylo tedy velmi obtížné se pohybovat, proto byla pro určení prostorových souřadnic pozorovaných bodů zvolena metoda prostorového protínání vpřed ze směrů. Tedy metoda protínání vpřed doplněná o měření zenitových úhlů, aby byla současně zjištěna i vertikální složka posunu. Pro zajištění stability sítě a pro zajištění nadbytečného počtu měření vstupujícího do vyrovnání byla měřena obousměrně délka mezi stanovisky.

4.2 Použité přístroje a pomůcky

K měření etapy č. 18 byla použita totální stanice Topcon GPT – 3003N, 3 stativy a sada odrazných hranolů Topcon. Totální stanice je vybavena automatickým vertikálním a horizontálním kompenzátozem. Dalekohled přístroje má 30-ti násobné zvětšení s rozlišovací schopností 2,8". Další parametry použité totální stanice jsou uvedeny v následující tabulce[16].

Přesnost měření délek (hranolem)		$\pm (3mm+2ppm)$
Dosah měření (s hranolem)		< 3000 m
Přesnost měření úhlů		1,0 mgon
Citlivost libel	Krabicová libela	10'/2 mm
	Alhidádová libela	30"/2mm

Tab. 4.2 Parametry totální stanice použité v etapě č. 18 [manuál]

Aby byla zachována kontinuita mezi etapami, byla i k etapě č. 19 vybraná stejná totální stanice, jako byla použita v etapě č. 18. Avšak byla mi z mé výpůjčky odebrána a byla mi přidělena totální stanice Topcon GTS 233N. Totální stanice je také vybavena automatickým vertikálním a horizontálním kompenzátořem. Dalekohled přístroje má 30-ti násobné zvětšení s rozlišovací schopností 2,5". Další parametry k totální stanici použité v etapě č. 19 jsou uvedeny v tabulce.

Přesnost měření délek (hranolem)		$\pm (2mm+2ppm)$
Dosah měření (s hranolem)		$< 3000\ m$
Přesnost měření úhlů		$1,0\ mgon$
Citlivost libel	Krabicová libela	$10'/2\ mm$
	Alhidádová libela	$30''/2mm$

Tab. 4.3 Parametry totální stanice použité v etapě č. 19 [manuál]

Před vlastním měřením bylo provedeno ověření součtové konstanty daných soustav (použitá totální stanice + hranoly) pro etapu č. 18 i etapu č. 19. Postup pro ověření součtové konstanty je popsán v následující kapitole.

4.2.1 Určení součtové konstanty hranolu

Určení součtové konstanty hranolu může výrazně ovlivnit výsledek měření. Za součtovou konstantu hranolu považujeme zbytkový rozdíl měřené délky, který je způsoben tím, že optický a elektronický počátek není přesně totožný s centrem přístroje nebo cíle. Součtová konstanta je vždy vázána na soustavu: přístroj – odrazný hranol. Její velikost se tedy může lišit a může dosahovat až několik cm.

Před zahájením vlastního měření bylo provedeno zjištění hodnoty součtové konstanty dané soustavy (totální stanice a odrazného hranolu), abychom se vyvarovali hrubých chyb při měření. Postup proběhl dle návodu, který je uveden ve studijních oporách Inženýrská geodézie I – Návody ke cvičením.

Ověření součtové konstanty bylo vykonáno na vhodně zvolené základně o třech úsecích. Úseky byly realizovány pomocí tří stativů zařazených do přímky a trojpodstavcové soupravy. Měření úseku a, b, c (viz Obr.4.1) bylo provedeno tam i zpět a tím byly získány měřické dvojice.

Hodnota součtové konstanty se pak určí z průměru měřické dvojice dosazeného do



vztahu: $PSM = c - (a + b)$.

Obr. 4.1 Určení součtové konstanty [autor]

Celkem byl tento postup opakován pro tři vhodně zvolené základny. Výsledná hodnota součtové konstanty se získala jako aritmetický průměr těchto měření. Abychom věděli, zda je nutné zjištěnou hodnotu součtové konstanty v totální stanici přenastavovat, byl proveden test významnosti změny PSM. Výpočet součtové konstanty i její test významnosti byl proveden pro obě etapy měření a je součástí přílohy č. 2 a č. 3. V obou etapách nebylo nutné hodnotu konstanty přenastavovat a byla ponechána hodnota -30 mm.

4.3 *Etapa č.18*

Etapa č. 18 byla zaměřena dne 2. 7. 2013. Bylo jasno, kolem 25°C, ale předešlé dny bylo počasí proměnlivé. Povrch byl značně vlhký, a proto bylo třeba dbát zvýšené opatrnosti při pohybu v terénu.

Nejprve proběhla rekognoskace terénu. Některé pozorované body byly pod větším nánosem naplavenin, avšak podařilo se dohledat všechny pozorované body, u kterých byly určovány posuny v předešlé etapě č. 17. Okolí jednotlivých pozorovaných bodů bylo očištěno a body byly označeny křídou pro rychlejší orientaci. Měření je navázáno na referenční body č. 106, 107, 108, 109, 110, které jsou umístěny na skalní stěně nad propadáním. Body jsou již z minulosti označeny červenou barvou, avšak ta se s postupem času vytrácí a body bylo vidět pouze přes dalekohled přístroje. Dále byl využíván jako referenční bod č. 39, který je umístěn na pravém břehu potoka na stabilní skále. Měření je vždy navázáno minimálně na tři referenční body z každého pomocného stanoviště. Výjimku tvoří pomocné stanoviště 4004, kde bylo měřeno pouze na referenční bod č. 39. Mezi stanovištěm a referenčními body umístěné na skále se nachází blok G a tvořil přirozenou překážku.

Pro určení souřadnic bodů byla zvolena metoda prostorového protínání vpřed ze směrů. Tato metoda byla shledána jako nejvýhodnější pro zjištění horizontálních i vertikálních posunů.

Měřická síť byla vytvořena s ohledem na faktory uvedené v kapitole 4.1. Byla zvolena měřická síť s 6-ti přechodnými stanovišty, aby na výsledek měření neměla vliv chyba z centrace přístroje. Na vzdálenost 25m způsobí chyba v centraci přístroje 1mm chybu a ve směru 2,5 mgon [21]. Centrováno bylo pouze na bodě 33, který nebylo možné zaměřit z žádného ze stanovišť. Bod 33 se nachází na bloku G a lze

jej vidět pouze ze strany od skalní stěny, přičemž je to druhý nejvyšší bod ze soustavy pozorovaných bodů.

Abychom mohly vypočítat souřadnice pozorovaných bodů, bylo nutné každý bod zaměřit minimálně ze dvou pomocných stanovisek. Pro kontrolu a pro zvýšení přesnosti je, ale nutné každý pozorovaný bod zaměřit i ze tří a více stanovisek. Některé body však nebylo možné zaměřit pro kontrolu z třetího pomocného stanoviska z důvodu nepřístupnosti bodu nebo přírodním překážkám. Na tyto body byl měřen vodorovný směr, zenitový úhel a délka pomocí odrazného hranolu. Týká se to bodů č. 16, 29 a 35. Bod č. 16 se nachází na bloku D a byl vidět pouze ze dvou stanovisek, díky přirozeným překážkám. Bod č. 29 je umístěn na bloku G a bod č. 35 je umístěn před skalní stěnou a blokem G. Tato dvojice bodů je vidět pouze ze dvou míst. Stojíme-li přímo na bloku G nebo u skalní stěny. U skalní stěny je velmi nestabilní terén tvořen především naplaveninami a odpadlými kmeny stromů a tak zde nebylo možné postavit přístroj. Na bloku G jsme zřídili pomocné měřické stanoviště 4006 a jako další pomocné stanoviště jsme využili bod 33.

Bod 26 je také měřen pouze ze dvou stanovisek (4001 a 4002). Leží na bloku F, kde bylo zřízeno i pomocné stanoviště, avšak bod nebylo možné vidět ani z jednoho dalšího zřízeného pomocného stanoviska, což jsme při měření na pomocných stanoviscích 4001 a 4002 správně neodhadli. Bod 26 tedy nemá žádnou kontrolu. Avšak v porovnání etap č. 17 a č. 18 nevykazuje velké rozdíly v souřadnicích a z toho důvodu nebyl bod vyloučen z měřené etapy č. 18.

V etapě č. 18 jsme zaměřili celkově 28 pozorovaných bodů. Měření trvalo cca 10 hodin. Měřický náčrt situace je součástí přílohy č. 4.

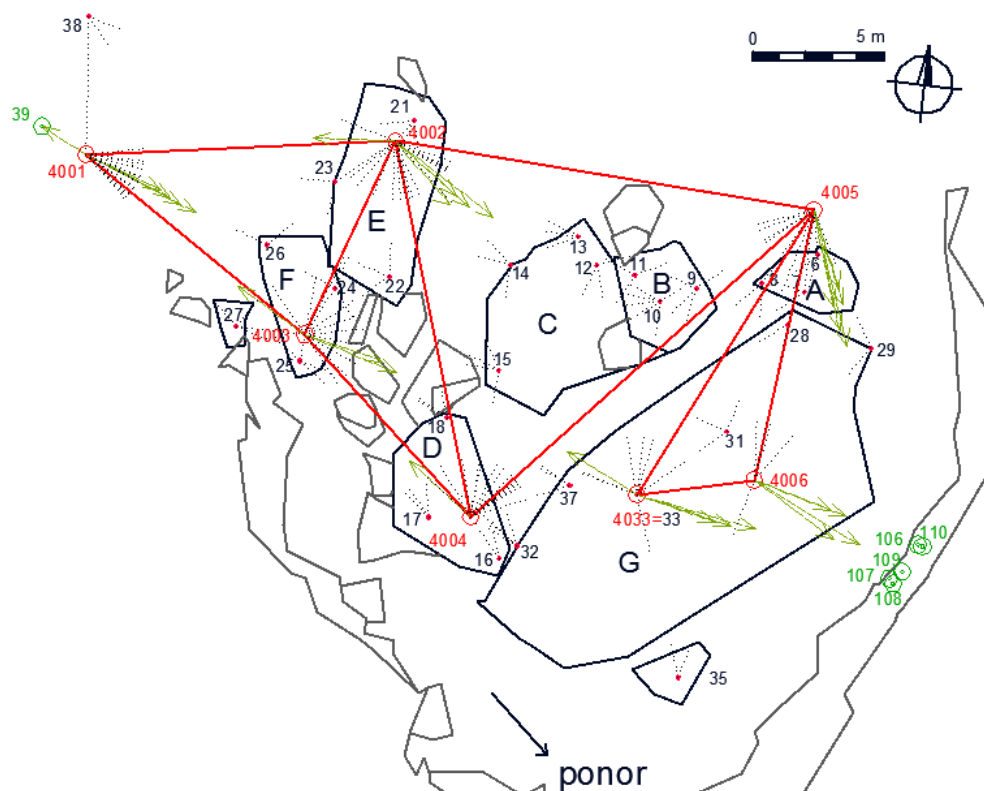
4.4 *Etapa č.19*

Etapa č. 19 byla zaměřena dne 13. 10. 2013. Měření probíhalo obdobně jako při měření etapy č. 18. Teplota se pohybovala okolo 7°C a povrch skalních bloků a balvanů byl značně kluzký po předchozí deštivé noci.

Pro určení souřadnic bodů byla také zvolena metoda prostorového protínání vpřed ze směrů jako u předchozí etapy. Pro zaměření pozorovaných bodů byla zřízena měřická síť s 6-ti přechodnými stanovisky a jedním centrovaným stanovištěm na bodě č. 33. Síť byla navázaná na referenční body č. 106, 107, 108, 109, 110 a 39. Byly nalezeny všechny body č. 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17,

18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 35, 37, 38, které byly zaměřeny i v etapě č. 18. Pozorované body byly opět zaměřeny ze dvou a více stanovisek. Výjimku tvořili body č. 29 a 35. Dvojice bodů, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole je vidět pouze ze dvou míst. Na tyto body byl měřen vodorovný směr, zenitový úhel a délka pomocí odrazného hranolu. Bod č. 29 nevykazuje velké rozdíly v souřadnicích při porovnání etapy č. 18 a etapy č. 19 a proto není z měření vyloučen. O bodu č. 35 bude blíže zmíněno v kapitole 6.3.

Celkem měření trvalo kolem 12 hodin. K etapě č. 19 je zpracován přehledný náčrt situace jehož výřez je na obrázku vlevo. Celý náčrt měřické situace je součástí přílohy č. 5.



Obr. 4.2 Výřez měřického náčrtu [autor]

5. ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Ke zpracování naměřených dat bylo možné použít výpočetní softwary Groma, Genet, DLL MNC a mnohé jiné. V návaznosti na dřívější etapy a po dohodě s vedoucím diplomové práce byl zvolen k vyrovnání měřické sítě software ORPHEUS (**ORIENT** – **Photogrammetric Enginneering Utilities System**).

5.1. Výpočetní software ORPHEUS

Výpočetní software ORPHEUS byl vyvinut v polovině 70. let 20. století v institutu fotogrammetrie a dálkového průzkumu na Technické univerzitě ve Vídni. Přestože je software hlavně využíván pro vyrovnání fotogrammetrických dat, je možné tento program využít i při úlohách klasické geodézie. Je založen na grafickém prostředí programu Orient, ve kterém lze pracovat s různými matematickými modely. S rostoucími potřebami uživatelů bylo grafické prostředí rozšířeno o další funkce. Jednou z předností tohoto softwaru je, že umožňuje současně vyrovnávat odlišné veličiny.

Při tvorbě samotného softwaru bylo požadováno, aby byly zachovány starší aplikace pro potřeby Institutu fotogrammetrie a dálkového průzkumu země. Požadavek byl splněn tím, že software je rámec rozdělen na uživatelské prostředí a výpočetní programy. K jejich vzájemné komunikaci slouží tzv. agenti. Program dále využívá databázi, ve které jsou uložena veškerá data, se kterými pracuje. Databáze je rozdělena do tří skupin (tzv. rooms). Každá skupina představuje 3D prostor, který je propojený s 3D kartézským souřadnicovým systémem. Software využívá dva typy skupin a to *skupinu měření*, která obsahuje měřené hodnoty a souřadnicový systém s nimi spojený, a dále *skupinu parametrů*, která zahrnuje neznámé veličiny a jejich souřadnicový systém.

Za jednu z dalších výhod programu ORPHEUS můžeme považovat schopnost realizace robustního vyrovnání. Podstatou této metody je, že při každé iteraci je upravována váha měření. K chybným měřením jsou postupně přiřazovány větší opravy => menší váhy. Tím to snížíme vliv odlehlých hodnot na výsledek vyrovnání. Po odstranění odlehlých měření se vyrovnání realizuje s původními váhami. Kdyby byla použita klasická metoda nejmenších čtverců, bylo by výsledné vyrovnání zatíženo i chybným měřením. [19]

Před zahájením výpočtu vyrovnání si lze v programu nastavit různé parametry.

- měření, která vstupují do vyrovnání
- měření, která budou brána jako fixní a která budou považována za neznámá
- případně lze nastavit, aby do vyrovnání vstupovala pouze jedna souřadnice určitého bodu

Po ukončení iterací je možné provést analýzu přesnosti získaných výsledků z vyrovnání.

5.2 Matematický model

Hledané veličiny se neměří přímo, ale určují se prostřednictvím jiných měřených veličin. Každý bod je určen vodorovným úhlem α , zenitovým úhlem z a šikmou délkou s . Využijeme tedy vyrovnání zprostředkujících měření. Sestavíme systém *tří rovnic oprav*, který je dán maticovým zápisem:

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_z \\ s + v_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \cdot \mathbf{R}^T \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

kde v_α je oprava vodorovného úhlu, v_z je oprava zenitového úhlu a $s + v_s$ je oprava šikmé délky a \mathbf{R} je matice rotace, která popisuje vztah natočení lokálního systému přístroje (x, y, z) a systému geodetického (X, Y, Z), a je rovna:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \kappa & -\cos \varphi \sin \kappa & \sin \varphi \\ \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \varphi \sin \kappa & -\sin \omega \cos \varphi \\ \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \varphi \cos \kappa & \sin \omega \cos \kappa - \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa & \cos \omega \cos \varphi \end{bmatrix}$$

Matice, která předchází matici \mathbf{R}^T , představuje výpočet lokálních souřadnic přístroje x, y, z a její maticový zápis je:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/s \cdot \sin \zeta & 0 & 0 \\ 0 & 1/s & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sin \alpha & -\cos \alpha & 0 \\ \cos \alpha \cos \zeta & \sin \alpha \cos \zeta & \sin \zeta \\ \cos \alpha \sin \zeta & \sin \alpha \sin \zeta & \cos \zeta \end{bmatrix}$$

Poslední člen v systému rovnic oprav popisuje posun počátku lokální souřadnicové soustavy. Předmětem vlastního vyrovnání jsou úhly stočení ω, φ, κ v matici \mathbf{R} .

Během měření jsme vždy horizontovali přístroj, proto je možné psát, že pro úhly stočení ω , φ platí $\omega = \varphi = 0$. Tyto úhly je možné považovat za měřené a jejich rovnice oprav jsou dány vztahy:

$$\varphi = v_{\varphi} + \varphi_{obs}$$

$$\omega = v_{\omega} + \omega_{obs}$$

Souřadnice referenčních bodů (X, Y, Z) vstupují do vyrovnání jako měřené veličiny a jsou tím pádem také předmětem vyrovnání, je možné pro každý referenční bod vytvořit rovnice oprav:

$$v_x = X - X_{obs}$$

$$v_y = Y - Y_{obs}$$

$$v_z = Z - Z_{obs}$$

Výpočet probíhá pomocí iterace. Jsou vyrovnány úhly stočení v matici rotace R , poté jsou tyto úhly dosazeny do výpočtu a jsou opraveny měřené veličiny, pro které se znovu vypočítají rotační úhly. Postup se opakuje do doby, než je dosaženo požadované přesnosti. Aby se předešlo deformacím hodnot získaných z měření, do vyrovnání vstupují spolu s pozorovanými body i souřadnice bodů referenčních.

Výsledkem vyrovnání jsou souřadnice a výšky všech pomocných stanovisek, pozorovaných bodů i upřesněné souřadnice referenčních bodů spolu s charakteristikami přesnosti v podobě středních chyb souřadnic a parametrů středních elips chyb. Výsledky vyrovnání jsou uvedeny v elektronické příloze č. 9 a č. 10 – *Výpočetní protokol o vyrovnání* a jsou přehledně zpracovány v příloze č. 12 – *Analýza posunů*.

5.3 Střední chyby souřadnic

Charakteristiky přesnosti, které získáme z vyrovnání a jsou také součástí elektronické přílohy č. 9 a č. 10 – *Výpočetní protokol o vyrovnání*, jsou střední chyby pro jednotlivé souřadnice m_x , m_y , m_z . Tyto charakteristiky přesnosti nám určují přesnost polohy bodu ve směru souřadnicových os.

V tabulce na následující straně jsou uvedeny průměry středních chyb souřadnic na pozorovaných bodech a pomocných měřických bodech z etap č. 18 a č. 19 měření v roce 2013.

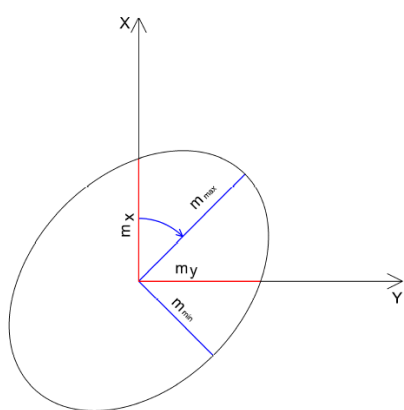
Střední chyby na pozorovaných bodech v [mm]				
ETAPA	m_y	m_x	m_z	$m_{x,y}$
Etapa č.18	1,39	1,23	0,94	1,32
Etapa č. 19	1,26	1,00	0,81	1,27
Střední chyby na pomocných měřických bodech v [mm]				
ETAPA	m_y	m_x	m_z	$m_{x,y}$
Etapa č.18	1,26	1,07	0,77	1,17
Etapa č. 19	1,15	0,85	0,67	1,01

Tab. 5.1 Střední chyby souřadnic pro měřené etapy [autor]

Z tabulky je patrné, že hodnoty při porovnání jednotlivých středních chyb mezi etapami na pozorovaných i pomocných měřických bodech nevykazují příliš velké odchylky. Rozdíly se pohybují kolem hodnoty desetiny milimetru. Můžeme tedy říct, že souřadnice v obou etapách jsou určeny s relativně stejnou přesností polohové i výškově.

5.4 Střední elipsy chyb

Jednou z dalších charakteristik přesnosti, kterou získáme z vyrovnaní je střední elipsy chyb. Na rozdíl od charakteristik přesnosti zmíněných v předchozí kapitole nám střední elipsa chyb poskytuje komplexní informaci o přesnosti polohového určení bodu, tzn.: zjišťuje nám dosaženou přesnost v určitém (kritickém) směru. Je dána velikostí svých poloos – extrémních chyb m_{\max} , m_{\min} , které představují největší a nejmenší chybu v určení polohy a úhlem stočení φ směru hlavní poloosy m_{\max} vzhledem k ose x souřadnicové soustavy. Parametry střední elipsy chyb se vypočítají pomocí středních chyb jednotlivých souřadnic a kovariance



m_{xy} , která charakterizuje stupeň vzájemné závislosti (korelace) mezi souřadnicemi x a y [15]. Střední elipsa chyb i s výpočtem jednotlivých parametrů je uvedena níže.

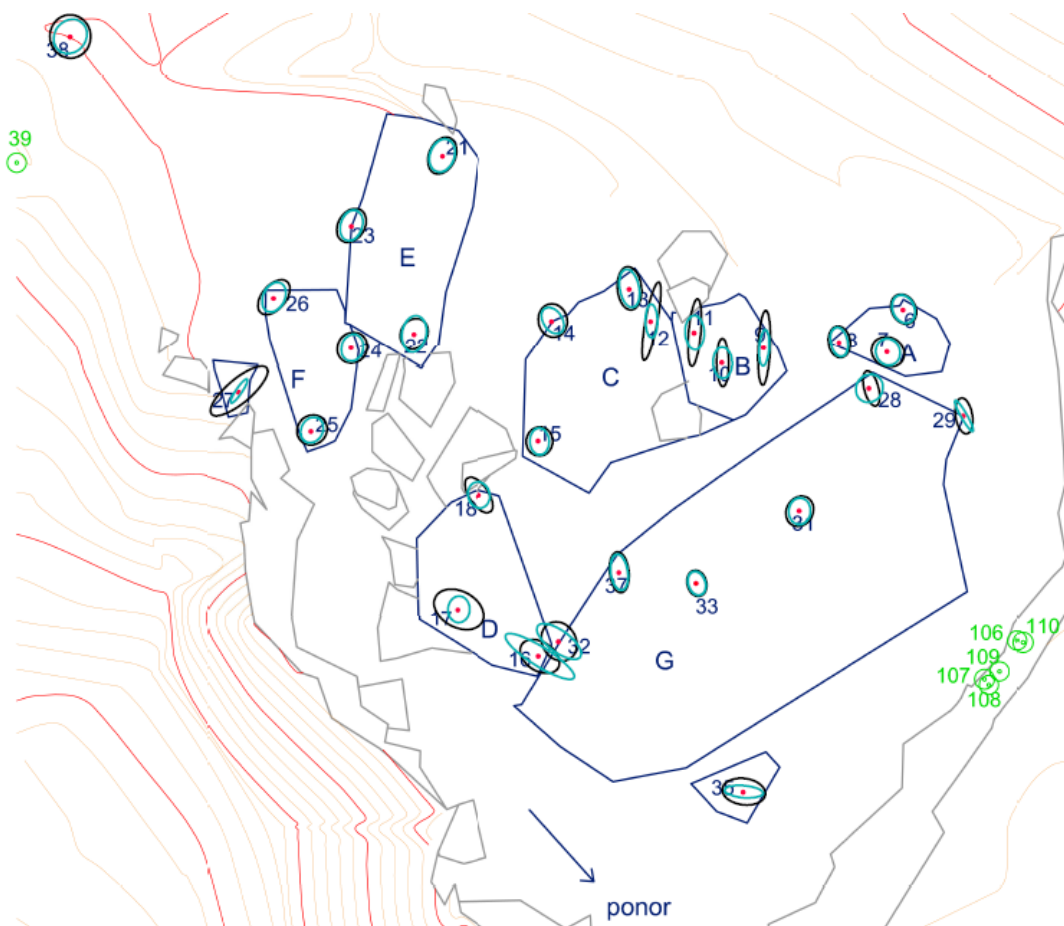
$$m_{\max}^2 = \frac{m_x^2 + m_y^2}{2} + \sqrt{\frac{(m_x^2 - m_y^2)^2}{4} + m_{xy}^2}$$

$$m_{\min}^2 = \frac{m_x^2 + m_y^2}{2} - \sqrt{\frac{(m_x^2 - m_y^2)^2}{4} + m_{xy}^2}$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \arctg \frac{2m_{xy}}{m_x^2 - m_y^2}$$

Obr. 5.1 Střední elipsa chyb a výpočet jejich parametrů [autor]

V programu Microstation byly elipsy vykresleny pro etapu č. 18 a etapu č. 19 a barevně rozlišeny do společného výkresu a tvoří přílohu č. 6. Výřez výkresu je uveden níže. Parametry elips chyb byly vypočítány v softwaru Microsoft Excel.



Obr. 5.2 Střední elipsy chyb pro pozorované body [autor]

Na obrázku jsou znázorněny elipsy chyb pro etapu č. 18 černou barvou a pro etapu č. 19 světle modrou barvou. Tvarem a velikostí se elipsy chyb příliš neliší, výjimku tvoří body 9, 10, 11, 12, 16, 17 a 32, u kterých je u jedné z etap vždy m_{\max} výrazně větší než m_{\min} . To je způsobeno především volbou konfigurace sítě, tedy volbou protínacího úhlu. Naopak si můžeme povšimnout, že elipsy chyb na bodech 29 a 35, které bylo problematické zaměřit v obou etapách, jsou srovnatelné povahy.

6. POSOUZENÍ POSUNŮ

6.1 Posouzení posunů

Výsledné souřadnice z etapového měření se většinou porovnávají s nultou (základní) nebo s předešlou etapou měření a tímto způsobem se získávají výsledné posuny. V mém případě jsem porovnávala etapové měření z roku 2013, tedy dvojici měření etap č. 18 a č. 19. Dále porovnání etapy č. 18 s předešlou etapou č. 17. A nakonec jsem porovnávala dvojici etap z roku 2013, kde jsou souřadnice interpolovány k datu 1.7 daného roku a porovnávány s nultou etapou. Hodnoty dřívějších výsledků měření byly převzaty z diplomové práce Kristýny Nezvalové z roku 2012 [18].

Nejprve byly zjištěny souřadnicové rozdíly na pozorovaných bodech mezi etapami, což jsou dosažené výsledné posuny. Avšak jak již bylo řečeno dříve, někdy je problematické rozhodnout, zda posun pozorovaného bodu nastal, nebo jsou-li zjištěné posuny pouze produktem měřických chyb. Byla tedy určena střední chyba rozdílu dle vztahu, který vychází ze zákona hromadění středních chyb: $m_{\Delta x} = \sqrt{m_{x(i)}^2 + m_{x(i-1)}^2}$. Dále jsem si musela stanovit mezní hodnotu posunu, na jejichž velikosti bylo rozhodnuto, zda posun nastal nebo nenastal. Hodnota mezního posunu je dána vztahem $\delta_{\Delta x} = t \cdot m_{\Delta x}$, kde t představuje součinitel konfidence a je roven 2,5. Tato hodnota byla stanovena z důvodu nepříliš dobrých podmínek při měření. Riziko mylného závěru u této stanovené hodnoty činí 1%.

Zhodnocení je provedeno pro každý souřadnicový rozdíl pozorovaného bodu v porovnávaných etapách. Jestliže posun nastal, byla překročena mezní hodnota posunu a je označen „ANO“. Pokud posun nenastal, nebyla překročena mezní hodnota posunu a je označen „NE“. Nebo je označen „MOŽNÁ“ a hodnota posunu se nachází v intervalu mezi střední chybou rozdílu a mezní hodnotou posunu.

$\Delta x < m_{\Delta x}$	NE	Posun nenastal
$m_{\Delta x} \leq \Delta x \leq \delta_{\Delta x}$	MOŽNÁ	Posun nebyl jednoznačně prokázán
$\Delta x < \delta_{\Delta x}$	ANO	Posun nastal s pravděpodobností 99%

Tab. 6.1 Posouzení posunů

6.2 Porovnání etap č. 17 a č. 18

Etapa č. 17 byla zaměřena studentkou Nezvalovou Kristýnou dne 13. 10. 2012 a hodnoty byly převzaty z její diplomové práce. Etapa č. 17 je porovnána s etapou č. 18 zaměřenou dne 2. 7. 2013. Výsledné rozdíly jsou uvedeny v tabulce níže, celý výpočet je součástí elektronické přílohy č. 13 – *Analýza posunů*.

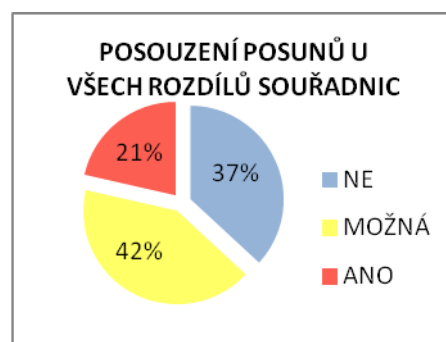
Č.B.		SOUŘADNICOVÉ ROZDÍLY			STŘEDNÍ CHYBA ROZDÍLU			POSOUZENÍ POSUNU					
		ΔY	ΔX	ΔZ	m _{ΔY}	m _{ΔX}	m _{ΔZ}	Δδy	Posun	Δδx	Posun	Δδz	Posun
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	v ose Y	[mm]	v ose X	[mm]	v ose Z
POZOROVANÉ BODY	6	-2,7	-3,3	1,1	1,73	1,81	1,46	4,32	MOŽNÁ	4,53	MOŽNÁ	3,65	NE
	7	-2,2	-5,1	2,3	1,68	1,99	1,32	4,19	MOŽNÁ	4,99	ANO	3,29	MOŽNÁ
	8	-1,8	-3,2	1,9	1,90	1,65	1,42	4,74	NE	4,12	MOŽNÁ	3,56	MOŽNÁ
	9	-0,2	1,5	2,2	1,97	1,52	1,18	4,92	NE	3,79	NE	2,96	MOŽNÁ
	10	1,0	1,1	-1,9	1,80	1,46	2,08	4,49	NE	3,65	NE	5,19	NE
	11	3,2	-2,9	1,4	2,29	1,42	1,32	5,73	MOŽNÁ	3,56	MOŽNÁ	3,29	MOŽNÁ
	12	-1,8	0,7	2,9	1,91	1,72	1,54	4,77	NE	4,30	NE	3,84	MOŽNÁ
	13	-4,9	-1,9	1,1	2,22	1,52	1,42	5,56	MOŽNÁ	3,81	MOŽNÁ	3,55	NE
	14	-6,5	-3,9	4,2	1,88	1,68	1,35	4,71	ANO	4,19	MOŽNÁ	3,38	ANO
	15	-0,7	-1,8	2,2	2,20	1,74	1,24	5,50	NE	4,35	MOŽNÁ	3,09	MOŽNÁ
	16	2,2	-1,4	6,7	1,72	2,24	1,87	4,29	MOŽNÁ	5,61	NE	4,67	ANO
	17	0,1	-2,5	-0,5	2,67	3,98	1,49	6,67	NE	9,96	NE	3,74	NE
	18	-1,6	-1,9	2,4	2,32	2,10	1,28	5,79	NE	5,26	NE	3,21	MOŽNÁ
	21	-2,2	0,2	1,6	2,03	1,96	1,46	5,08	MOŽNÁ	4,89	NE	3,65	MOŽNÁ
	22	-2,6	-0,6	3,7	1,81	1,56	1,14	4,53	MOŽNÁ	3,91	NE	2,85	ANO
	23	-3,6	0,0	4,5	1,89	1,56	1,17	4,73	MOŽNÁ	3,89	NE	2,94	ANO
	24	-1,8	-4,3	4,1	1,76	1,62	1,12	4,39	MOŽNÁ	4,04	ANO	2,79	ANO
	25	-0,8	-4,1	8,3	1,68	1,78	1,32	4,21	NE	4,44	MOŽNÁ	3,30	ANO
	26	-1,8	-2,7	2,8	2,02	1,75	1,32	5,06	NE	4,39	MOŽNÁ	3,31	MOŽNÁ
	27	-5,4	2,1	-2,0	1,95	1,71	1,19	4,89	ANO	4,27	MOŽNÁ	2,97	MOŽNÁ
	28	2,3	-1,9	-0,8	1,68	1,73	1,30	4,19	MOŽNÁ	4,32	MOŽNÁ	3,26	NE
	29	-1,0	3,2	4,4	1,97	2,24	1,64	4,92	NE	5,61	MOŽNÁ	4,11	ANO
	31	-0,2	-0,5	3,7	2,32	1,94	1,15	5,79	NE	4,85	NE	2,88	ANO
	32	2,0	-1,3	4,3	3,23	3,03	1,33	8,06	NE	7,57	NE	3,33	ANO
	33	2,5	-1,2	3,6	1,64	1,15	1,05	4,09	MOŽNÁ	2,86	MOŽNÁ	2,62	ANO
	35	4,1	0,4	7,7	1,98	2,48	2,12	4,96	MOŽNÁ	6,20	NE	5,31	ANO
	37	-1,4	-3,9	4,4	2,68	1,27	1,32	6,71	NE	3,18	ANO	3,30	ANO
	38	-6,9	3,1	1,4	2,16	2,21	1,75	5,39	ANO	5,52	MOŽNÁ	4,37	NE

Tab. 6.2 Porovnání etap č. 17 a č. 18

Při porovnání zmíněné dvojice etap bylo zohledněno, že z etapy č. 17 byl vyloučen bod č. 16, který leží na bloku D. V porovnání rozdílu souřadnic mezi etapami č. 16 a č. 17 vykazoval velké rozdíly, jak ve své práci uvedla studentka Nezvalová Kristýna. Po konzultaci s vedoucím diplomové práce doc. Hanzlem byl bod č. 16 vyinterpolován z etapy č. 16 a č. 18 a jeho střední chybu jsem vypočetla dle zákona hromadění středních chyb. Výpočet je proveden v softwaru Microsoft Excel a je také součástí elektronické přílohy č. 13 – *Analýza posunů*.

Časový odstup mezi těmito porovnávanými etapami je 9 měsíců. V kapitole 2.4.2 bylo zmíněno, že na výsledné posuny má největší vliv voda v jakémkoli skupenství. V zimní období 2012/2013 docházelo často k střídání tzv. teplejších period s chladnějšími a mrazivými. Nejteplejší měsícem byl prosinec ($3,72^{\circ}\text{C}$), který byl zároveň nejdeštivější (42mm). Naopak nejsušší a nejchladnější ($-12,3^{\circ}\text{C}$) byl měsíc leden [23]. Tyto výkyvy teplot a skupenství vody ovlivnily posun bloků a tím i výsledné souřadnice v etapě č. 18. Posun nastal u 3 bodů v ose Y, u 2 bodů v ose X a u 11 bodů v ose Z, celkově tak nastal u 21% měřených souřadnic pozorovaných bodů. Nejvyšší hodnoty v ose Y dosáhl posun na bodě č. 38 hodnoty -6,9 mm, v ose X hodnoty -5,1 mm na bodě č. 7 a v ose Z hodnoty 8,3 mm na bodě č. 25.

Posun nenastal u 31 souřadnic pozorovaných bodů a celkově v 37 %. Rozdíly souřadnic, jež se nachází v intervalu mezi střední chybou rozdílu a mezní hodnotu posunu je 35. U těchto souřadnicových rozdílů není možné říct, zda posun nastal nebo nenastal, celkově se jedná o 42% souřadnic pozorovaných bodů. Pokud body porovnáme pouze v horizontální složce, můžeme z tabulky vidět, že u 22 bodů nenastal posun nebo u něj nebyl jednoznačně prokázán. Uvedený graf znázorňuje procentuálně výsledné posouzení souřadnicových rozdílů všech pozorovaných bodů.



Graf 6.1 Posouzení posunů u všech rozdílů souřadnic

6.3 Porovnání etap č. 18 a č. 19

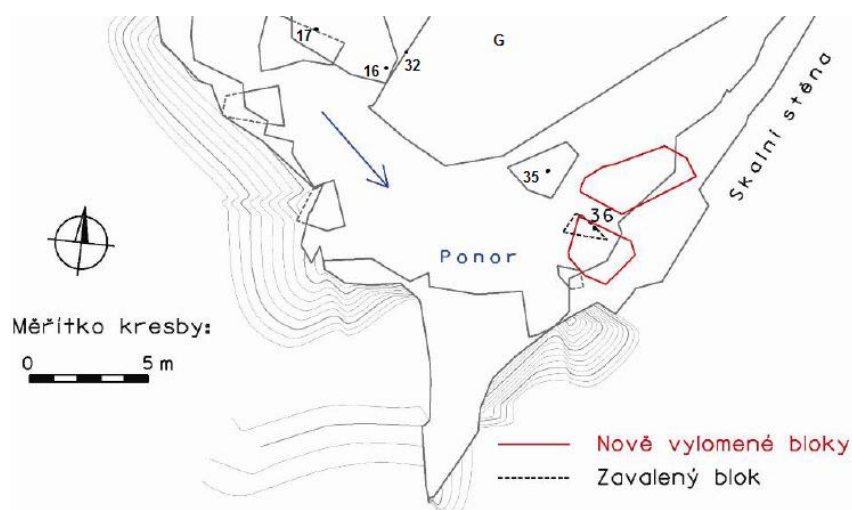
Dvojice etap č. 18 a č. 19 byla předmětem zaměření této diplomové práce. Měření probíhalo 2. 7. a 13. 10. 2013. Mezi etapami byl tak relativně malý časový

odstup. Výsledné souřadnice, které jsme získaly z programu Orpheus byly porovnávány v programu Microsoft Excel a celý výpočet je součástí elektronické přílohy č. 13. V níže uvedené tabulce jsou uvedeny rozdíly souřadnic mezi etapami na jednotlivých bodech, střední chyby rozdílu a následné posouzení zda posun nastal, nenastal nebo nebyl jednoznačně prokázán.

Č.B.		SOUŘADNICOVÉ ROZDÍLY			STŘEDNÍ CHYBA ROZDÍLU			POSOUZENÍ POSUNU					
		ΔY	ΔX	ΔZ	m _{ΔY}	m _{ΔX}	m _{ΔZ}	Δδy	Posun	Δδx	Posun	Δδz	Posun
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	v ose Y	[mm]	v ose X	[mm]	v ose Z
POZOROVANÉ BODY	6	-4,6	-3	-2,9	1,73	1,36	1,17	4,32	ANO	3,40	MOŽNÁ	2,93	MOŽNÁ
	7	-3,4	-2,5	-1,8	1,67	1,71	1,19	4,17	MOŽNÁ	4,29	MOŽNÁ	2,98	MOŽNÁ
	8	-4,1	-4	-1,8	1,76	1,21	1,11	4,41	MOŽNÁ	3,02	ANO	2,77	MOŽNÁ
	9	-3	-4,8	-0,5	1,83	1,28	1,05	4,58	MOŽNÁ	3,20	ANO	2,62	NE
	10	-2,8	-3,1	1,9	1,85	1,19	1,92	4,61	MOŽNÁ	2,98	ANO	4,79	NE
	11	-3,9	-2,8	-0,2	2,05	1,23	1,27	5,13	MOŽNÁ	3,09	MOŽNÁ	3,18	NE
	12	-3	-2,5	0,4	1,86	1,31	1,12	4,65	MOŽNÁ	3,28	MOŽNÁ	2,80	NE
	13	-0,8	-1,1	2,4	2,37	1,32	1,16	5,94	NE	3,30	NE	2,89	MOŽNÁ
	14	1,4	0,3	1,3	1,85	1,45	1,15	4,63	NE	3,61	NE	2,88	MOŽNÁ
	15	-2,7	-1,9	1,6	1,61	1,36	1,04	4,03	MOŽNÁ	3,40	MOŽNÁ	2,60	MOŽNÁ
	16	1,3	6,3	1,0	2,03	2,75	2,09	5,08	NE	6,87	MOŽNÁ	5,23	NE
	17	-1,5	-1,9	5,5	1,86	2,38	1,19	4,65	NE	5,94	NE	2,99	ANO
	18	-1,7	-2,6	2,7	1,76	1,57	1,10	4,40	NE	3,93	MOŽNÁ	2,75	MOŽNÁ
	21	-3,1	-0,1	2,7	2,09	1,51	1,18	5,24	MOŽNÁ	3,79	NE	2,96	MOŽNÁ
	22	1,8	-1,2	2,8	1,78	1,45	1,03	4,46	MOŽNÁ	3,63	NE	2,59	ANO
	23	0,2	0,5	2,4	1,92	1,53	1,06	4,80	NE	3,82	NE	2,66	MOŽNÁ
	24	-1,3	-1,9	3,1	1,74	1,53	1,06	4,35	NE	3,83	MOŽNÁ	2,65	ANO
	25	-1,8	-2,6	4,6	1,64	1,64	1,12	4,09	MOŽNÁ	4,09	MOŽNÁ	2,79	ANO
	26	-0,6	-2,7	3,4	1,86	1,68	1,14	4,65	NE	4,20	MOŽNÁ	2,84	ANO
	27	-2	-1,1	1,1	1,74	1,72	1,07	4,36	MOŽNÁ	4,30	NE	2,67	MOŽNÁ
	28	-4,6	-2,2	-1,7	1,68	1,50	1,90	4,19	ANO	3,75	MOŽNÁ	4,74	NE
	29	5,5	4,4	-12,7	1,77	1,21	1,33	4,43	ANO	3,01	ANO	3,31	ANO
	31	-0,2	-4,2	0,1	1,70	1,41	1,04	4,25	NE	3,53	ANO	2,61	NE
	32	1,8	1	3,1	2,38	2,56	1,18	5,96	NE	6,39	NE	2,95	ANO
	33	-0,8	-2,3	3,3	1,51	1,07	1,01	3,78	NE	2,67	MOŽNÁ	2,53	ANO
	35	-8,4	-9,7	-36,0	1,65	1,91	1,59	4,14	ANO	4,78	ANO	3,98	ANO
	37	1,5	-0,4	1,0	2,14	1,29	1,15	5,34	NE	3,24	NE	2,87	NE
	38	-0,4	0,4	0,8	2,28	2,27	1,27	5,69	NE	5,68	NE	3,18	NE

Tab. 6.3 Porovnání etap č. 18 a č. 19

Posun nastal u 4 bodů v ose Y , u 6 bodů v ose X a u 9 bodů v ose Z , celkově tak nastal u 23% měřených souřadnic pozorovaných bodů. Což je přibližně stejné procento posunů jako při porovnávání dvojice etap č. 17 a č. 18. Nejvyšších hodnot posunů ve všech souřadnicových osách dosahuje bod č. 35. V etapě č. 19 byl tento bod zaměřen pouze jednou, avšak tyto rozdíly souřadnic mohou být také způsobeny tím, že během zimy 2012/2013 došlo k svahovým pohybům, při kterém došlo k vylomení dvou bloků ze skalní stěny nad propadáním. Jeden z menších vylomených bloků zavalil blok, na kterém byl stabilizován bod č. 36 a tím bylo jeho sledování ukončeno[18]. Bod č. 35 je stabilizován hned vedle bloku, který byl zavalen. To je patrné z obrázku níže. Díky nestabilnímu terénu v oblasti mezi skalní stěnou a blokem G, je pravděpodobné, že oba vylomené bloky mění svou polohu. Může docházet k tlaku na blok, kde je stabilizovaný bod č. 35. To může být prokázáno v následujících etapách měření.



Obr. 6.1 Nově vylomené bloky [18]

Posun nenastal u 32 souřadnic pozorovaných bodů a celkově v 38%. Rozdíly souřadnic, jež se nachází v intervalu mezi střední chybou rozdílu a mezní hodnotu posunu je 33. U těchto souřadnicových rozdílů není možné říct, zda posun nastal nebo nenastal, celkově se jedná o 38%. Pokud body porovnáme pouze v horizontální složce, můžeme z tabulky vidět, že u 20 bodů nenastal posun nebo u něj nebyl jednoznačně prokázán.

6.4 Porovnání dvojice etap z roku 2013 s nultou etapou

Dále bylo provedeno porovnání etap z roku 2013 s nultou etapou. V našem případě se porovnávají roční výsledné souřadnice k datu 1. 7. daného roku. Dvojice měřených etap č. 18 a č. 19, nebyla interpolována. Výsledné souřadnice byly převzaty pouze z etapy č. 18 měřenou dne 2. 7. 2013. Výsledné souřadnice pozorovaných bodů z nulté etapy byly převzaty z diplomové práce od Kristýny Nezvalové [18]. Výpočet probíhal v programu Microsoft Excel a je součástí elektronické přílohy č. 13 – *Analýza posunů*.

Č.B.	ΔY_{2013} [mm]	ΔX_{2013} [mm]	ΔZ_{2013} [mm]
6	11,9	50,5	-60,3
7	7,8	53,6	-57,5
8	12,7	58,9	-54,0
9	54,3	17,9	-46,8
10	56,9	14,1	-51,2
11	49,0	12,0	-62,6
12	34,4	15,8	-68,2
13	30,4	19,3	-67,1
14	29,3	28,2	-66,0
15	28,4	27,0	-63,8
16	-11,2	61,4	-125,4
17	29,2	46,2	-80,9
18	25,8	44,2	-69,2
21	77,1	47,4	-73,3
22	88,8	44,7	-139,0
23	61,4	31,4	-146,7
24	52,2	132,7	-165,6
25	24,2	125,7	-288,7
26	57,5	126,9	-146,3
27	-7,7	-3,0	1,1
28	62,1	37,8	-45,0
29	48,8	32,2	-32,7
31	71,9	36,6	-56,5
32	19,4	21,9	-37,5
33	65,3	38,7	-75,9
35	23,5	17,0	-39,3
37	19,9	20,2	-34,6
38	-3,6	-1,5	1,3

Tab. 6.4 Porovnání etap z roku 2013 s nultou etapou

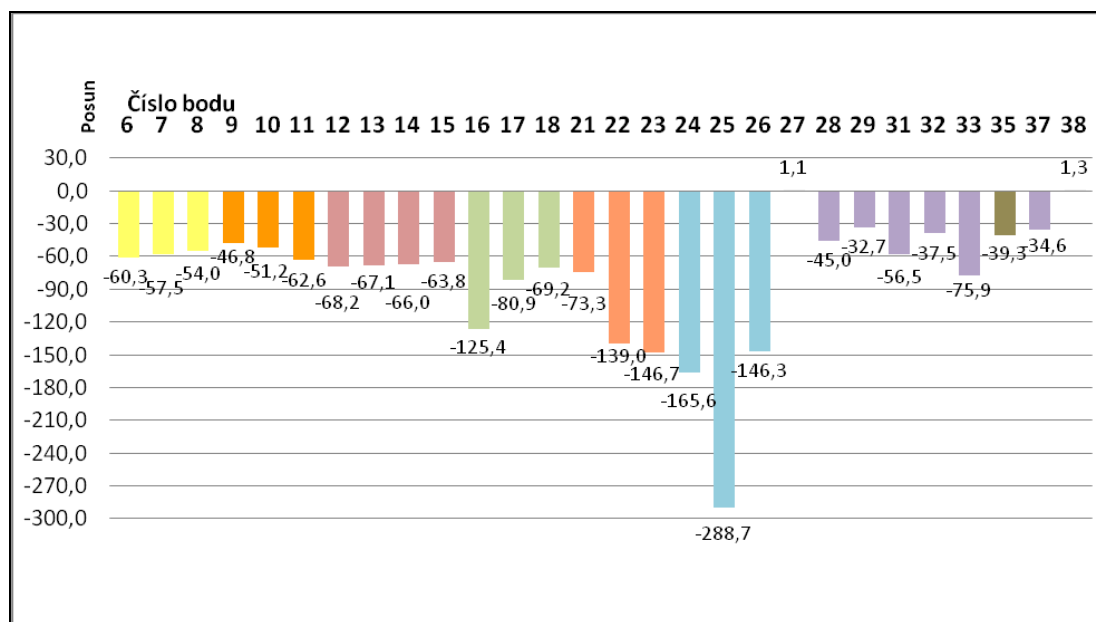
V tabulce nalevo jsou uvedeny rozdíly souřadnic pozorovaných bodů, které jsem získala porovnáním etap z roku 2013 a nulté etapy. U většiny bodů byla nultá etapa zaměřena v roce 2004, výjimku tvoří body 27, 32, 35, 37, 38, které mají nultou etapu zaměřenou v roce 2009. Průměrně dosahují rozdíly souřadnic nejvyšších hodnot v ose Z. Nejvyššího posunu je dosaženo na bodě č. 35 (-288,7mm). Naopak nejnižšího rozdílu souřadnic v ose Z vykazuje bod č. 27 (1,1 mm). V horizontální složce vykazuje nejvyššího posunu bod č. 24 (132,7 mm) v ose X. Naopak nejnižšího rozdílu v souřadnici v ose X bod č. 38 (-1,5mm). V ose Y dosahuje nejvyššího posunu bod č. 22 (88,8 mm), naopak nejmenšího rozdílu souřadnic vykazuje bod č. 38 (-3,6 mm).

BLOK	ΔY [mm]	ΔX [mm]	ΔZ [mm]
Blok A	10,8	54,3	-57,3
Blok B	53,4	14,7	-53,5
Blok C	30,6	22,6	-66,3
Blok D	22,1	50,6	-91,8
Blok E	75,8	41,2	-119,7
Blok F	44,6	128,4	-200,2
Blok G	47,9	31,2	-47,0

Tab. 6.5 Průměrné souřadnicové rozdíly nulté etapy a etapy z roku 2013

Poloha a hustota pozorovaných bodů je zvolena tak, aby na základě změn polohy pozorovaného bodu, bylo možné určit posuny a přetvoření pozorovaného objektu jako celku. Aby bylo možné určit tendenci pohybu skalního bloku, je nutné, aby na bloku byly stabilizovány minimálně 3 body. Některé bloky jsou osazeny 3mi a více značkami, avšak blok A, B, D, E, F pouze 3mi a v případě poškození jednoho pozorovaného bodu, už bychom nebyly schopni posoudit skalní blok jako celek. V tabulce na předchozí straně jsou uvedeny průměrné hodnoty souřadnicových rozdílů na blocích mezi nultou etapou a etapou z roku 2013.

Z tabulky 6.4 - Porovnání etap z roku 2013 s nultou etapou je patrné, že nejvyšších hodnot ve změně polohy pozorovaného bodu dochází v Z složce. Znaménko „-“ znamená pokles a znaménko „+“ znamená zdvih a vyskytuje se pouze u 2 souřadnicových rozdílů na pozorovaných bodech č. 38 a 27, u ostatních pozorovaných bodů dochází k poklesu. To může být způsobeno zejména umístěním skalních bloků v řečišti potoka, kde dochází k podemílání podloží. I bloky, které nejsou po většinu roku omílány vodou, při vzedmutí hladiny jsou tomu stavu vystaveny. Velikost rozdílů souřadnic v ose Z pozorovaných jsou vyjádřeny číselně v tabulce 6.4 a také graficky znázorněny v grafu níže.



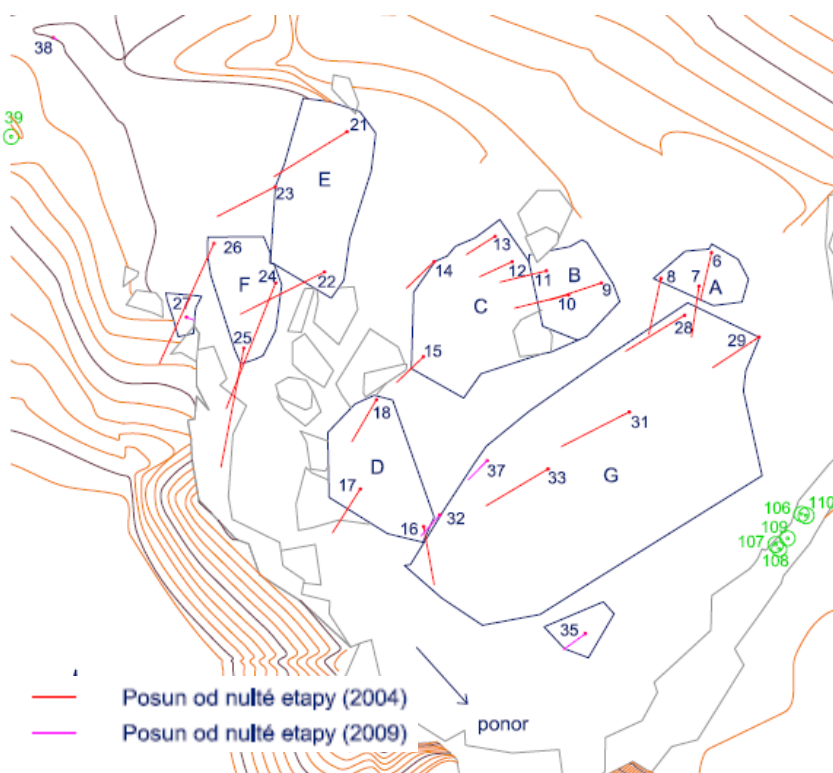
Graf 6.2 Znázornění posunů v ose Z vůči nulté etapě

Horizontální posuny nedosahují takových hodnot jako posuny vertikální. Většina pozorovaných bodů vykazuje kladné posuny a ubírá se směrem k jihozápadu. Výjimku tvoří body č. 16, 27, 38. Body č. 27 a 38 jsou stabilizovány

na samostatných balvanech a nachází se u řečiště potoka. Poloha zmíněné dvojice pozorovaných bodů tedy silně závisí na stavu vodního toku. Bod č. 16 je stabilizován na bloku D. Ve složce *X* vykazuje stále kladné posuny, ve složce *Y* vykazoval také kladné posuny, avšak v porovnání etap z roku 2012 s nultou etapou již ve složce *Y* vykazuje záporný posun (-14,8 mm). Záporný posun (-11,2mm) byl také zjištěn i z porovnání etap z roku 2013 s nultou etapou. Na bloku, kde je stabilizován bod č. 16, jsou také stabilizovány body č. 17 a 18. Ty se ubírají směrem k jihozápadu a bod č. 16 k jihovýchodu. Z horizontálních posunů na tomto bloku je patrné, že dochází k rotaci bloku. Což je z největší pravděpodobností způsobeno tím, že blok se nachází přímo v řečišti potoka.

Zhodnotíme-li pozorované body v rámci bloku, tak bloky B, C, D, E se ubírají směrem k jihozápadu. Bloky A a F se pohybují spíše na jih. Blok A je nejvzdálenější od řečiště potoka a není jím ovlivňován. Jeho pohyb je způsoben sesuvy svahu nad ním. Blok F leží přímo v korytě potoka a směr jeho pohybu určuje stav vodního toku potoka.

Grafické znázornění posunů v horizontální rovině v porovnání etap z roku 2013 s nultou etapou je znázorněno na výřezu níže.



Obr. 6.2 Posuny v horizontální rovině [autor]

6.5 Porovnání všech etap s nultou etapou

Všechny dříve zaměřené etapy v daném roce jsou vždy interpolovány k polovině dané roku k datu 1.7. Tyto etapy jsou pak porovnávány s nultou etapou a tím získáváme průběh posunů pozorovaných bodů. Průběh posunů pozorovaných bodů v této práci je vyjádřen číselně i graficky. Výsledné rozdíly souřadnic jsou vypočteny v programu Microsoft Excel, kde v tomto programu byly vygenerovány grafy rozdílů souřadnic v závislosti na časové linii.

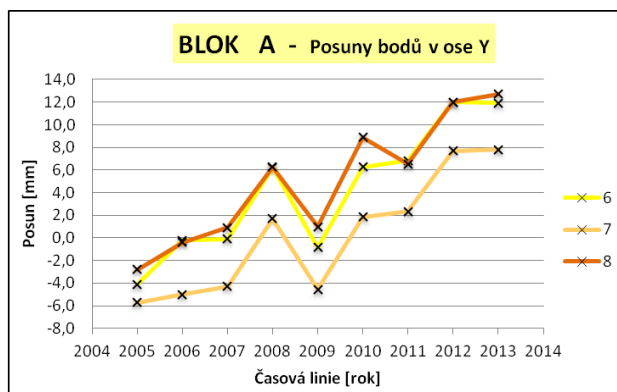
Jednotlivé bloky jsou vyhodnoceny zvlášť pro osu X, Y i Z. Pozorované body, které jsou stabilizovány samostatně 27, 35, a 38 byly vyneseny do společného grafu zvlášť pro osu X, Y i Z. Vypočet je součástí elektronické přílohy č. 13 – *Analýza posunů*, grafy jsou součástí přílohy č. 8. Rozmístění pozorovaných bodů na blocích je patrné z tabulky.

Blok A	6,7,8
Blok B	9,10,11
Blok C	12,13,14,15
Blok D	16,17,18
Blok E	21,22,23
Blok F	24,25,26
Blok G	28,29,31,32,33,37
Ostatní	27,35,38

Tab. 6.6 Rozmístění pozorovaných bodů na blocích

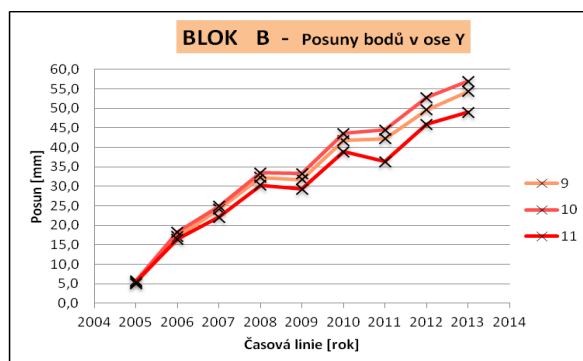
Skalní blok A se nachází na levém břehu ve směru přítoku potoka Bílá voda do propadání a je také nejdále vzdálen od řečiště potoka a není tedy přímo ovlivněn jeho činností. Pozorované body v ose X a Z vykazují relativně lineární průběh až na rok 2005-2006, kdy tento blok vykázal výraznější posun oproti dalším rokům. To bylo pravděpodobně způsobeno povodní z roku 2005 uvedenou v kapitole 2.4.2, která vznikla následkem masivního tání sněhu. Pokud nebudeme brát v potaz již zmíněný výrazný posun, v průměru pozorované body na skalním bloku ve složkách X a Z vykazují posun 4mm za rok.

Osa Y již lineární není. Body ve složce Y na tomto bloku vykazují skokový trend v etapách 2007-2012. V etapě 2013 nevykazují velké odchylky od etapy 2012.



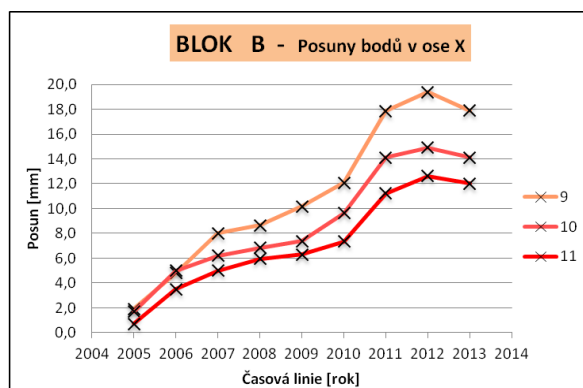
Graf 6.3 Znáznornění posunů v ose Y na skalním bloku A

Skalní blok B se nachází mezi blokem C a A. Pozorované body na bloku v ose Y vykazují souvislý nárůst rozdílu vůči nulté etapě, výjimku tvoří rok 2009 a 2011, kdy tento trend byl narušen. V průměru se posunuje blok B v ose Y 6 mm za rok.



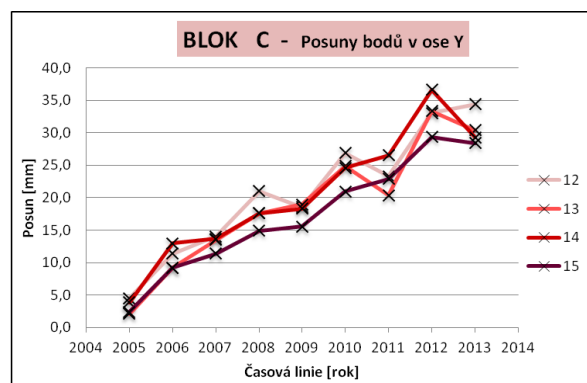
Graf 6.4 Znázornění posunů v ose Y na skalním bloku B

Sedání pozorovaných bodů v ose Z si zachovaly plynulý trend a roční posun činí v průměru 5 mm za rok. V ose X pozorované body v období 2005-2007 vykazují průměrný posun 3 mm/rok. Po té až do roku 2010 vykazují posun průměrně pouze 1mm/rok. Mezi 2010-2011 dochází v ose X ke skoku, kde tento skok je potvrzen a pozorované body po té stagnují.



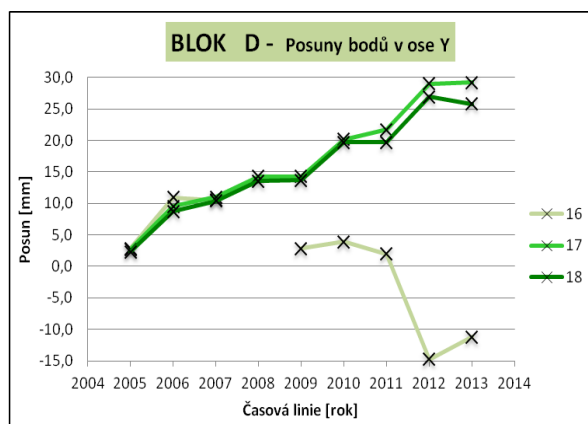
Graf 6.5 Znázornění posunů v ose X na skalním bloku B

Napravo od skalního bloku B ve směru přítoku potoka Bílá voda do propadání se nachází blok C. V ose Z má blok plynulý trend a výšková složka všech pozorovaných bodů na tomto bloku má téměř totožný průběh. V průměru poklesl blok 4mm vůči etapám z roku 2012 na pozorovaných bodech. V ose X posuny ustrnuly v období 2011-2013. V etapě 2013 v ose Y posuny nevykazují příliš velké odchylky oproti posunům zaměřeným v etapách 2012. Výjimku tvoří bod č. 14, který v této složce vykazuje větší odchylky.



Graf 6.6 Znázornění posunů v ose Y na skalním bloku C

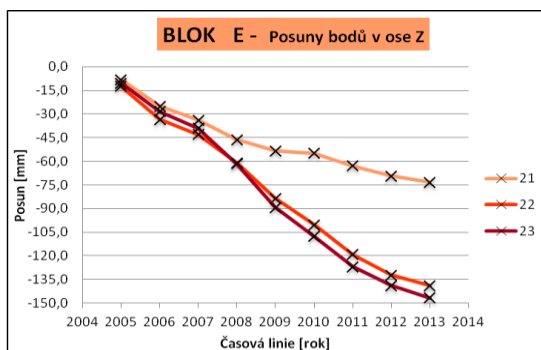
Blok D se nachází přímo v řečišti potoka Bílá voda a jeho posuny tedy stále ovlivňuje stav vodního toku. Pozorované body č. 17 a 18 v ose X, Y i Z vykazují relativně mírně nestálý charakter až na rok 2005-2006, kdy došlo již k zmíněné povodni a posuny v tomto období jsou výrazně větší než v jiných rocích. Na tomto bloku se nachází i bod č. 16. Bod bylo velmi problematické zaměřit v etapě č. 18 i č. 19. Z počátku měl tento bod stejný trend posunů v ose Y jako bod č. 17 a 18. Avšak v roce 2009 byl zjištěn zcela odlišný rozdíl souřadnic a došlo tak k posunu bodu č. 16 jiným směrem. V letech 2009-2011 se trend bodu ubíral stejným směrem jako dvojice bodů 17 a 18 stabilizovaných na stejném bloku. Dále mezi obdobími 2011-2012 došlo k výraznému posunu pozorovaného bodu č. 16 oproti dřívějším ve všech třech složkách X, Y i Z. Již studentka Nezvalová na tento trend bodu upozorňuje ve své práci a díky odchylkám, které byly zjištěny v roce 2013, tento trend potvrzuji.



Graf 6.7 Znáznornění posunů v ose Y na skalním bloku D

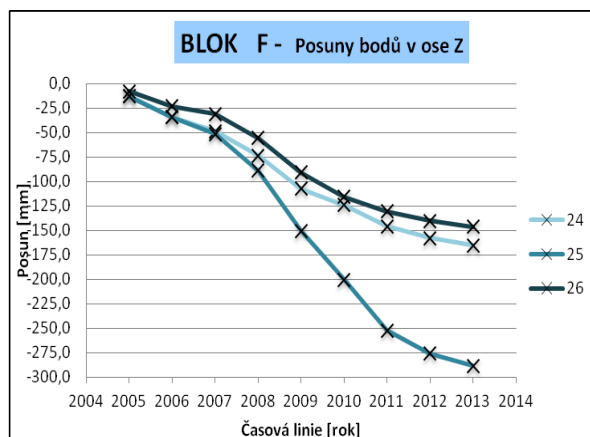
Skalní blok E je vystavován vodnímu toku Bílá voda neustále, nachází se přímo v korytě potoka. Možná právě proto je to jeden z méně stabilních bloků. Blok v ose Y v prvním období 2005-2007 nevykazoval velké posuny. V období 2007-2012 vykazoval lineární průběh posunů pozorovaných bodů. Mezi porovnávanými etapami v tomto období byl průměrný roční posun 13 mm. Mezi etapami z roku 2012 a 2013 vykazuje odchylky na pozorovaných bodech nejvýše 1 mm. Osu X při porovnávání můžeme také rozdělit do 3 dekad. V prvním období vykazoval blok průměrný roční posun 4 mm. Ovšem v další dekádě 2007-2011 už tento průměrný roční posun činil 8 mm. V období 2011-2013 se posuny příliš neliší (průměrně 1-2 mm) a blok v této ose X stagnuje. V ose Z blok E na pozorovaných bodech má plynulý trend posunu pozorovaných bodů v prvním období 2005-2008. Po té dvojici bodů č. 23 a 22 začala klesat rychleji než bod č. 21 a to v průměru 18 mm/rok oproti 7 mm/rok u bodu č. 21 v období 2008-2012. Mezi etapami 2012-2013 je roční posun poloviční

než zmiňované hodnoty na dvojici bodů č. 23,22 a bodu 21, což je patrné z grafu na níže.



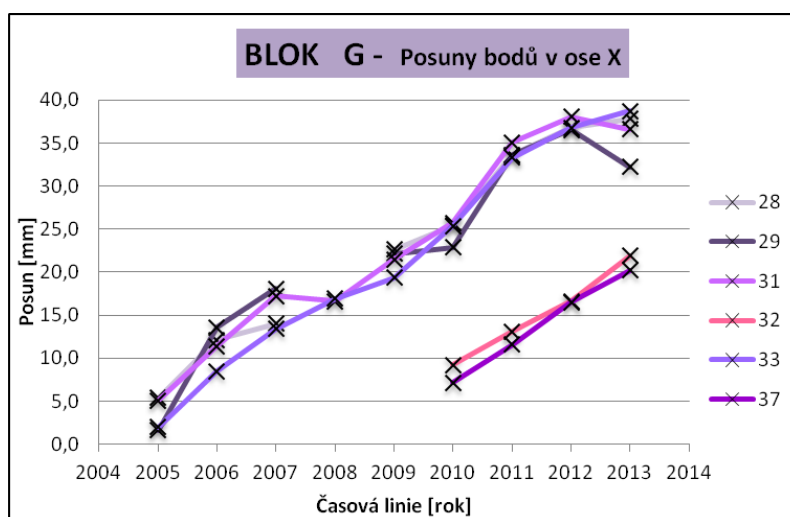
Graf 6.8 Znárodnění posunů v ose Z na skalním bloku E

Skalní blok F se nachází napravo od bloku E ve směru přítoku potoka Bílá voda do propadání. Blok leží přímo v řečišti potoka. Pozorované body na bloku E v ose Y nejdříve vykazují záporné hodnoty vůči nulté etapě. Mezi obdobími 2007-2008 dochází ke změně a body se začínají ubírat jiným směrem a v etapě z roku 2011 již všechny pozorované body jsou v kladných číslech oproti období 2005-2007. Mezi obdobími 2012-2013 došlo i na tomto bloku ke stagnaci a rozdíly mezi posuny na všech pozorovaných bodech v ose Y jsou do 1mm. Vyloučíme-li poslední období 2012-2013, tak průměrné roční posuny v ose Y činí 10 mm. Osa X v období mezi 2005-2008 měla pomalý lineární průběh. Roční posuny v tomto období činí průměrně 8 mm/rok. V etapách z let 2008-2011 zaznamenává osa X již výraznějších posunů v průměru 28mm za rok. Po té dochází i na této ose ke stagnaci a mezi etapami 2011-2012 už vykazuje osa průměrně posun 10mm a následující období již pouze 4mm. V ose Z má blok F na pozorovaných bodech lineární trend na pozorovaných bodech 24 a 26 a v průměru dosahují roční posuny 20 mm. Bod č. 25 má zpočátku také lineární trend, po té mezi obdobími 2007-2008 nastává prudký pokles a posun dosahuje v průměru až 50 mm za rok v období 2007-2011. Následně dochází na tomto bodě ke stagnaci, kdy bod již dosahuje polovičního posunu než uvedené hodnoty a v posledním období 2012-2013 již pouze cca 13 mm.



Graf 6.9 Znárodnění posunů v ose Z na skalním bloku F

Skalní blok G se nachází nejbližší u skalní stěny i propadání. Je to jeden z největších skalních bloků. Na tomto bloku jsou stabilizovány body č. 28, 29, 31, 32, 37 a nejvýše položený pozorovaný bod z celého zájmového území bod č. 33. Body mají zaměřenou nultou etapu v roce 2004, výjimku tvoří body č. 32 a 37, ty mají měřenou nultou etapu v roce 2009. Podmětem nově stabilizovaných bodů byl zřejmě fakt, že v roce 2008 byly na bloku G zaměřeny v horizontální složce pouze body č. 31 a 33 a ve složce vertikální pouze bod č. 31. Tento fakt je patrný z elektronické přílohy č. 13 – *Analýza posunů*. Body stabilizované na tomto bloku vykazují stejný trend v posunu bodu jako dříve měřené etapy ve všech třech osách až na body č. 29 a 31, které se v ose X v etapě 2013 malinko odchýlily od toho stálého trendu. To je patrné i z grafu níže. Zdali se body budou ubírat jiným směrem, ukážou až další měření. Jinak se tento blok chová celkem stabilně, což je možné vidět i na grafech v osách Y i Z, které jsou součástí přílohy č. 8.



Graf 6.10 Znárodnění posunů v ose X na skalním bloku G

Body č. 27, 35, 38 jsou stabilizovány samostatně na skalních balvanech a mají nultou etapu měřenou v roce 2009. Bod č. 27 se nachází napravo od bloku F ve směru přítoku potoka Bílá voda do propadání. Balvan, na kterém je stabilizován bod č. 27, je z jedné strany omílán vodou. Bod vykazuje nejvyšších posunů v ose Y průměrně 6 mm/rok. Bod č. 35 je stabilizován na skalním balvanu, který leží mezi skalní stěnou a blokem G. Bod dosahuje nejvyšších hodnot posunů ve všech souřadnicových osách ve zmíněné trojici bodů. V ose Z je to až -39,3 mm oproti souřadnici zaměřené v nulté etapě. Bod č. 38 je stabilizován nejdále od propadání

Bílého potoka. Tento bod nevykazuje příliš velké odchylky v měřených etapách a chová se celkem stabilně ve všech souřadnicových osách.

6.6 *Prostorové vyjádření posunů*

Pro lepší představu o prostorové změně polohy pozorovaného bodu, jsou výsledné rozdíly souřadnic všech etap porovnávány s nultou etapou znázorněny ve vertikálních rovinách ZY, ZX a horizontální složce YX . Souřadnice bodu jsou totožné s počátkem dané souřadnicové soustavy a vyneseno je tak pouze posun. Body jsou vždy vyneseny pro každý blok zvlášť, výjimku tvoří body č. 27, 32, 35, 37, 38. Zmíněné body mají zaměřenou nultou etapu v roce 2009. Body č. 32 a 37 jsou stabilizovány na bloku G a ostatní zmíněné body jsou stabilizovány samostatně na neoznačených skalních blocích a balvanech. Tyto grafy poskytují dostatečný pohled na průběh pozorovaného bodu v měřených etapách.

Prostorové vyjádření posunů tvoří přílohu č. 9, znázornění bylo provedeno v programu AutoCad.

7. ZÁVĚR

Diplomová práce určuje souřadnice 28 pozorovaných bodů stabilizovaných na skalních blocích a balvanech před propadáním Nová Rasovna. Jedná se o lokalitu, která se rozkládá nedaleko obce Holštejn v Severní části Moravského krasu. Dvojice měření etapy č. 18 (červenec 2013) a 19 (říjen 2013) navazuje na kontinuální měření zahájené v roce 2004 doc. Hanzlem, které je považováno za nultou etapu. Výsledné souřadnice z etapového měření jsou porovnávány. Výsledky z předchozích let byly převzaty z diplomové práce Kristýny Nezvalové.

Výpočet souřadnic proběhl metodou robustního vyrovnání v programu ORPHEUS. K porovnávání souřadnic jsem využila software Microsoft Excel, který byl využit i ke znázornění posunů bodů v závislosti na časové linii. Dále byly ke grafickému zpracování využity programy Microstation a AutoCad.

Bylo zjištěno, že skalní bloky a balvany B, C, D, E dosahují kladných hodnot v horizontálních posunech a směřují směrem k jihozápadu. Bloky A a F se pohybují spíše na jih. Vertikální posuny nabývají záporných hodnot a dochází tedy k poklesu skalních bloků a balvanů. Vertikální posuny dosahují dvojnásobných hodnot oproti horizontální složce. Posuny bloků jsou zejména ovlivňovány svou polohou vůči potoku Bílá voda. I když některé bloky nejsou stále omílány vodou, v době povodní jsou tomuto stavu vystaveny.

Na jaře roku 2014 byly započaty stavební práce nad propadáním. Byl odstraněn provizorní most a v místě nad propadáním došlo ke značnému sesuvu zeminy. Můžeme předpokládat, že k tomu bude docházet častěji snad i ve větší míře. To bude mít vliv i na polohu skalních bloků a balvanů. Z důvodu bezpečnosti budou pravděpodobně vynechány etapy v roce 2014.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Výstava - *Moravský kras známý i neznámý*. Moravské zemské muzeum, Dietrichsteinský palác, 5. květen 2010 - únor 2011
- [2] HOFAMAN, Eduard a kol. Jedovnice a okolí – Modelová oblast pro terénní vyučování, Olomoučany 1999
- [3] VAHALA, Miroslav - *Moravský kras a okolí*, Praha, 1956, 68 st
- [4] Geomorfologie pro technické obory. *Institut geologického inženýrství* [online]. [cit. 2013-09-30]. Dostupné z:
www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/06_Geodezie%20a%20kartografie/6_01_Prakticke%20aspekty%20geodezie%20a%20kartografie/Svab_Tomas2.pdf
- [5] KUKAL, Zdeněk - *Přírodní katastrofy* (2. vydání.), Praha: Horizont, 1983, 259 st,
- [6] Přírodní katastrofy a environmentální hazardy - multimediální výuková příručka. [online]. [cit. 2013-10-25]. Dostupné z: www.sci.muni.cz/~herber/slide.htm#1
- [7] ŠVÁB, Tomáš a Ladislav BÁRTA. *Geodetický a geologický průzkum v prostoru nové rasovny nad propadáním potoka bílá voda*. Brno, 2004. Vědecká práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. [online]. [cit. 2013-10-25]. Dostupné z:
www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/06_Geodezie%20a%20kartografie/6_01_Prakticke%20aspekty%20geodezie%20a%20kartografie/Svab_Tomas2.pdf
- [8] ABSOLON Karel. *Moravský kras 1*. Praha: Academia, 1970. ISBN 509-21-885
- [9] BURKHARDT, Rudolf a Přemysl RYŠAVÝ. *Tragédie v amatérské jeskyni*. Československý kras 1971, roč. 23. [online]. [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: www.speleo.cz
- [10] KOUTNÁ, Petra. *Blanenský deník*, [online]. [cit. 2013-11-4] Dostupné z: www.blanensky.denik.cz/zpravy_region/holstejn-projekt-na-novymost20080724.html
- [11] *Šošůvka* [online]. © 2006. [cit. 2013-11-4]. Dostupné z: www.sosuvka.com/index.php?pg=info&sub=clanky&id=184
- [12] *Holštejn* [online]. © 2009. [cit. 2013-11-4]. Dostupné z: www.holstejn.eu/userFiles/dokumenty/listarna/tani-snehu-2005-punkva.pdf

- [13] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Alexej VITULA a Jiří BUREŠ. *Inženýrská geodézie II: Geodézie ve stavebních oborech*. Brno: Studijní opory VUT Brno, 2007. 80s.
- [14] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, VITULA, Alexej, BUREŠ, Jiří: *Inženýrská geodézie I: Návod ke cvičením*, Brno: Studijní opory VUT Brno, 2006, 161 s.
- [15] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, VITULA, Alexej, BUREŠ, Jiří: *Inženýrská geodézie I: Základy inženýrské geodézie*, Brno: Studijní opory VUT Brno, 2006, 102 s.
- [16] <http://www.topcon.com.sg/survey/gpt30.html>[online]. [cit. 2013-11-4]
- [17] http://cs.wikipedia.org/wiki/Moravský_kras[online]. [cit. 2013-11-4]
- [18] NEZVALOVÁ, Kristýna. *Monitoring pohybů skalních bloků*. Brno, 2013. 60 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc..
- [19] MOŠTĚK, Václav. *Monitoring pohybu skalních bloků v propadání Bílé vody*. Brno, 2012. 47 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
- [20] HÁNEK, Pavel a kolektiv. *Stavební geodézie*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. 133s. ISBN 978-80-01-030707-2.
- [21] http://inggeo.fsv.cvut.cz/wiki/doku.php?id=05_rozbory_presnosti:0504_postup_urceni_celkove_presnosti_merene_veliciny[online]. [cit. 2013-11-26]
- [22] http://blanensky.denik.cz/zpravy_region/blanensko-cekaji-zasadni-uzavirky-kvuli-kruhaci-i-mostu-20140307.html [online]. [cit. 2014-04-2]
- [23] http://meteo_tom-791.blogy.in-pocasi.eu/Zima_20122013-1363869329.html[online]. [cit. 2014-04-9]

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Ortofotosnímek zájmové lokality [zdroj podkladu: Google Earth]	10
Obr. 2.2 CHKO Moravský kras [17]	11
Obr. 2.3 Přírodní rezervace bílá voda – turistická mapa [zdroj podkladu: www.google.maps.com]	12
Obr. 2.4 Způsob stabilizace pozorovaného bodu [autor]	14
Obr. 2.5 Rozmístění skalních bloků a balvanů s označenými pozorovanými body... 15	
Obr. 2.6 Referenční body na skalní stěně nad propadáním potoka Bílá voda [18]....	16
Obr. 2.7 Mostní konstrukce nad propadáním [autor]	17
Obr. 2.8 Rekognoskace jaro 2014 [autor]	18
Obr. 2.9 Stav vodního toku Bílá voda [11], [autor]	20
Obr. 3.1 Trigonometrické měření posunů [autor]	23
Obr. 3.2 Metoda záměrné přímky [autor].....	24
Obr. 3.3 Metoda polygonová [autor].....	24
Obr. 3.4 Trigonometrická metoda měření posunů [autor].....	25
Obr. 3.5 Prostorové protínání vpřed ze směrů [autor].....	26
Obr. 4.1 Určení součtové konstanty [autor]	31
Obr. 4.2 Výřez měřického náčrtu [autor]	34
Obr. 5.1 Střední elipsa chyb a výpočet jejich parametrů [autor].....	38
Obr. 5.2 Střední elipsy chyb pro pozorované body [autor]	39
Obr. 6.1 Nově vylomené bloky [18].....	44
Obr. 6.2 Posuny v horizontální rovině [autor].....	47

SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1 Přehled etapových měření [18], [19].....	29
Tab. 4.2 Parametry totální stanice použité v etapě č. 18 [manuál].....	30
Tab. 4.3 Parametry totální stanice použité v etapě č. 19 [manuál].....	31
Tab. 5.1 Střední chyby souřadnic pro měřené etapy [autor]	38
Tab. 6.1 Posouzení posunů.....	40
Tab. 6.2 Porovnání etap č. 17 a č. 18	41
Tab. 6.3 Porovnání etap č. 18 a č. 19	43

Tab. 6.4 Porovnání etap z roku 2013s nultou etapou	45
Tab. 6.5 Průměrné souřadnicové rozdíly nulté etapy a etapy z roku 2013	45
Tab. 6.6 Rozmístění pozorovaných bodů na blocích	48

SEZNAM GRAFŮ

Graf 6.1 Posouzení posunů u všech rozdílů souřadnic.....	42
Graf 6.2 Znázornění posunů v ose Z vůči nulté etapě.....	46
Graf 6.3 Znázornění posunů v ose Y na skalním bloku A	48
Graf 6.4 Znázornění posunů v ose Y na skalním bloku B	49
Graf 6.5 Znázornění posunů v ose X na skalním bloku B	49
Graf 6.6 Znázornění posunů v ose Y na skalním bloku C	49
Graf 6.7 Znázornění posunů v ose Y na skalním bloku D	50
Graf 6.8 Znázornění posunů v ose Z na skalním bloku E	51
Graf 6.9 Znázornění posunů v ose Z na skalním bloku F	51
Graf 6.10 Znázornění posunů v ose X na skalním bloku G	52

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CHKO	Chráněná krajina oblast
Bpv	Výškový systém Baltský po vyrovnání
ÚG	Ústav geodéie
VUT	Vysoké učení technické
GNSS	Globální navigační satelitní systémy
ORPHEUS	<u>O</u> RIENT – <u>P</u> hotogrammetric Enginneering Utilities System
MNČ	Metoda nejmenších čtverců
PN	Přesná nivelace
VPN	Velmi přesná nivelace

SEZNAM PŘÍLOH

VÁZANÉ PŘÍLOHY

- Příloha č. 1 Rozmístění skalních bloků a balvanů
- Příloha č. 2 Zápisník součtové konstanty hranolu pro etapu č. 18
- Příloha č. 3 Zápisník součtové konstanty hranolu pro etapu č. 19
- Příloha č. 4 Přehledný náčrt měřické situace z etapy č. 18
- Příloha č. 5 Přehledný náčrt měřické situace z etapy č. 19
- Příloha č. 6 Střední elipsy chyb pozorovaných bodů
- Příloha č. 7 Posuny v horizontální rovině
- Příloha č. 8 Grafy (posuny v závislosti na časové linii)
- Příloha č. 9 Trend bodů v rovině YZ,XZ a XY

ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY

- Příloha č. 1 Rozmístění skalních bloků a balvanů (*.pdf)
- Příloha č. 2 Zápisník součtové konstanty hranolu pro etapu č. 18 (*.pdf)
- Příloha č. 3 Zápisník z etapy č. 18 (*.txt)
- Příloha č. 4 Zápisník součtové konstanty hranolu pro etapu č. 19 (*.pdf)
- Příloha č. 5 Zápisník z etapy č. 19 (*.txt)
- Příloha č. 6 Přehledný náčrt měřické situace z etapy č. 18(*.pdf)
- Příloha č. 7 Přehledný náčrt měřické situace z etapy č. 19(*.pdf)
- Příloha č. 8 Seznam souřadnic a výšek referenčních bodů (*.txt)
- Příloha č. 9 Výpočetní protokol o vyrovnaní z etapy č. 18(*.txt)
- Příloha č. 10 Výpočetní protokol o vyrovnaní z etapy č. 19(*.txt)
- Příloha č. 11 Střední elipsy chyb pozorovaných bodů (*.pdf)
- Příloha č. 12 Posuny v horizontální rovině (*.pdf)
- Příloha č. 13 Analýza posunů (*.xls)
- Příloha č. 14 Grafy (posuny v závislosti na časové linii) (*.pdf)
- Příloha č. 15 Trend bodů v rovině YZ,XZ a XY(*.pdf)